



Laboratorio di elettrotecnica Ing. Ambientale

Giuliana Sias

<http://www.diee.unica.it/elettrotecnica/>
giuliana.sias@diee.unica.it

Tel 070/675-5878

Pspice 9.1

- <http://www.ecse.rpi.edu/courses/S15/ENGR-2300/OrCAD/download.html>

PSpice 16.6

<http://www.orcad.com/resources/orcad-downloads>

OrCAD 16.6 Lite Demo Software (Capture & PSpice Only)

Designers around the world rely on the powerful yet intuitive Cadence® OrCAD® personal productivity tools. OrCAD has a long history of providing individuals and teams with a complete set of technologies that offer unprecedented productivity, seamless tool integration, and exceptional value—the OrCAD 16.6 release continues with that tradition.

The OrCAD 16.6 demo software will let you experience all the features and functionality of the actual software*. So go ahead, discover how easy it is to use these state-of-the-art OrCAD technologies. * Limitations are in the size and complexity of the design.

The OrCAD 16.6 PCB Designer Lite includes demo versions of the following tools: OrCAD Capture, OrCAD Capture CIS, PSpice A/D, PSpice Advanced Analysis.

[Download FREE - OrCAD 16.6 demo software \(646MB\) Includes OrCAD flow tutorial with example design files](#) 
(You must use the path/folder option in your zip tool when extracting this archive.)

Having issues with your download? [Request a hard copy of the OrCAD 16.6 Lite DVD](#) 

PSpice 16.6

Home > Tools > OrCAD > OrCAD Downloads

[Email](#) [Share](#) [Subscribe](#) [Contact](#) [Print](#)

OrCAD Downloads

Please check all the check all OrCAD products you want to download.

OrCAD Downloads

- CIS Admin Tool 10.x
- CIS Admin Tool 16.2
- OrCAD Capture/OrCAD Capture CIS ViewReader
- OrCAD CIS Wizard
- PSpice Schematics Installer
- Third-party translator

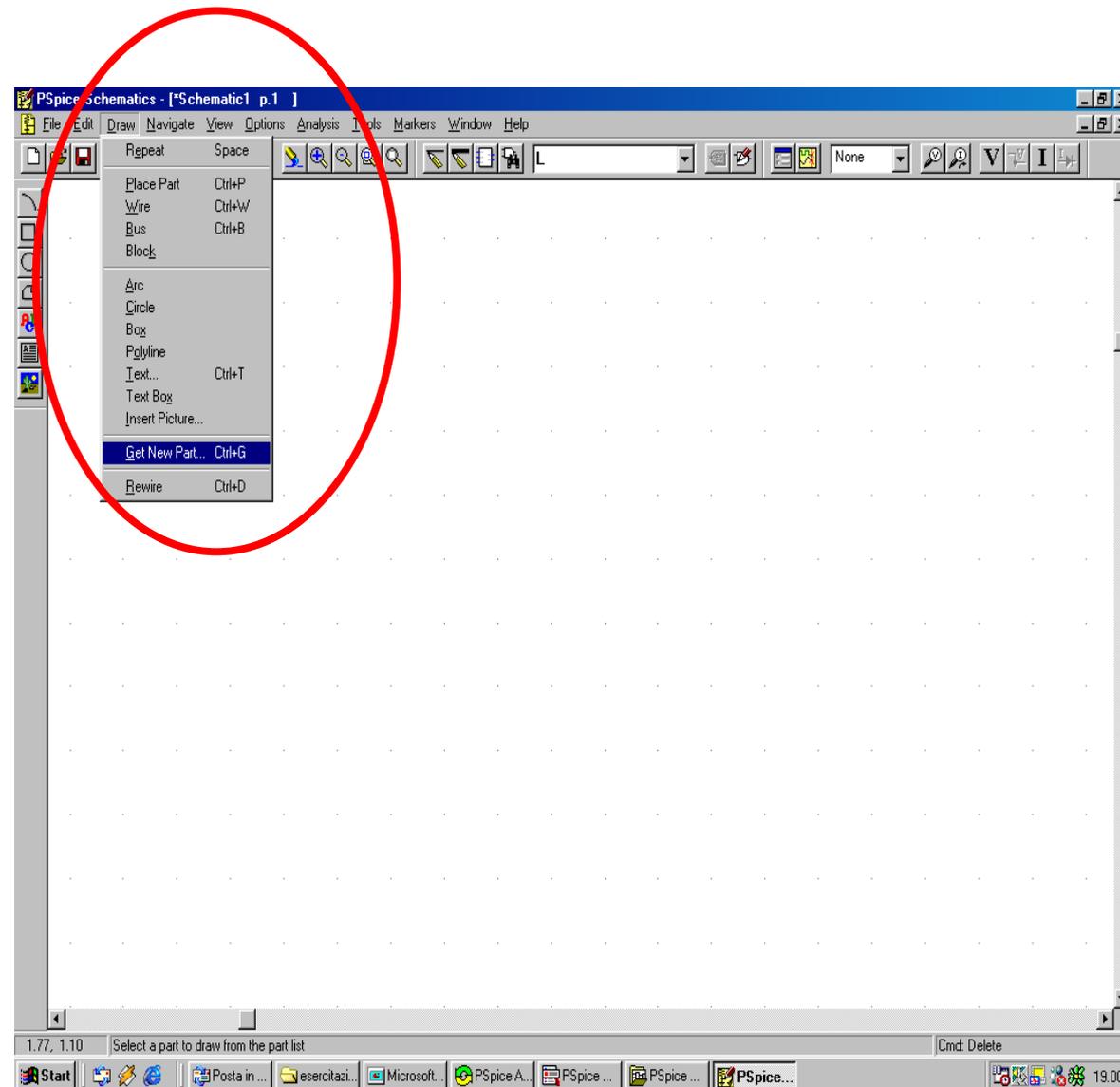
OrCAD Demo Software

- OrCAD 16.6 Demo Software (All Products)
- OrCAD 16.6 Demo Software (Capture and PSpice only)
- Request Physical Demo Media for OrCAD 16.6

SUBMIT ▾



Locazione dei componenti

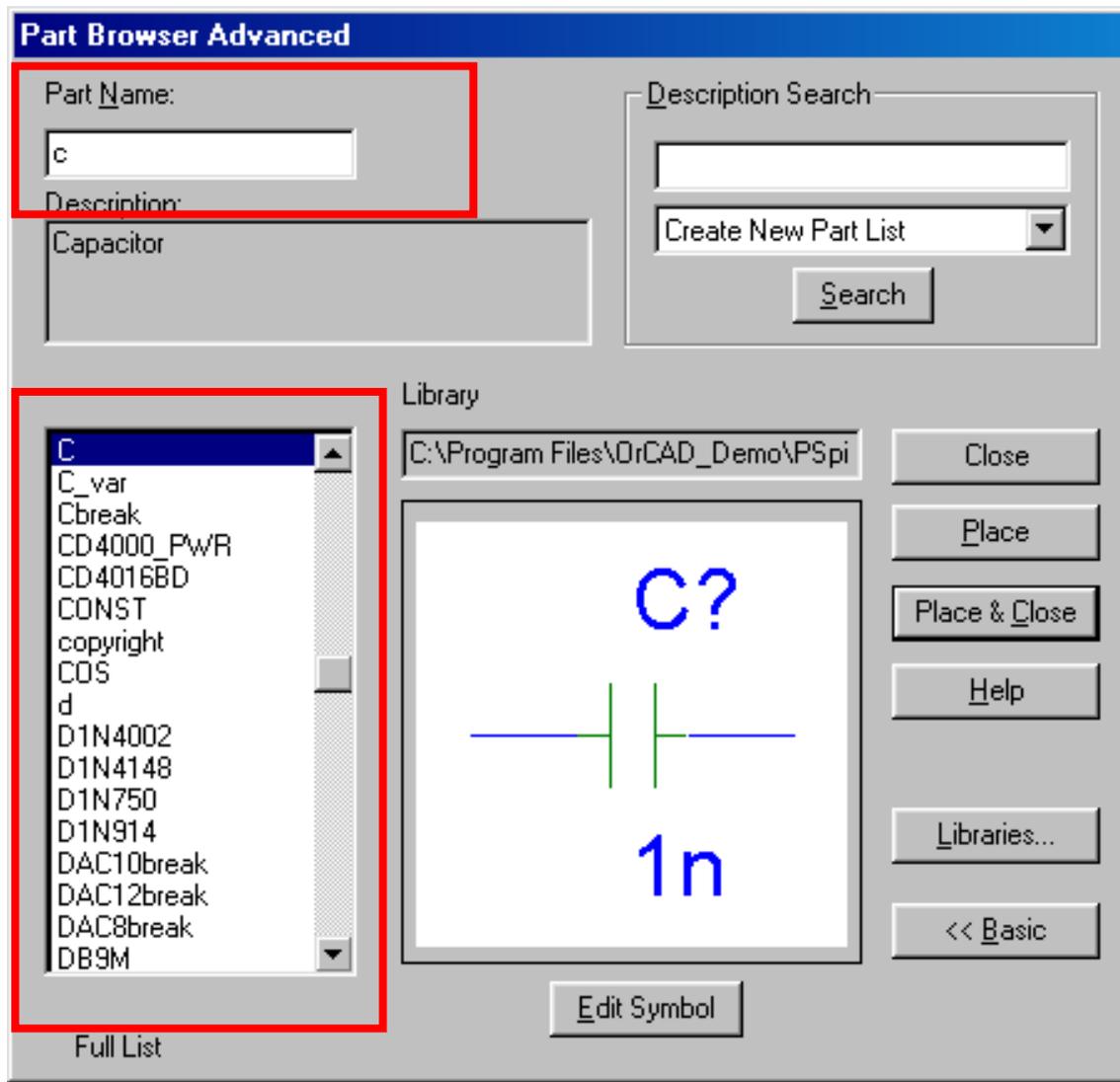


Draw/Get new part



Part Browser advanced

Locazione dei componenti



Usare la barra di scorrimento per selezionare il componente, oppure scrivere il part name (es. C per il condensatore)

Librerie

Se in Part Browser Advanced non compaiono i componenti bisogna aggiungere le librerie manualmente da:

Option/Editor configuration /library settings

Scopo della simulazione circuitale

Progettazione di circuiti elettronici

Verifica della rispondenza alle specifiche di progetto:

- Senza dover realizzare alcun prototipo su cui eseguire test e misure per verificare il funzionamento
- senza dover risolvere il circuito analiticamente

Applicazioni principali

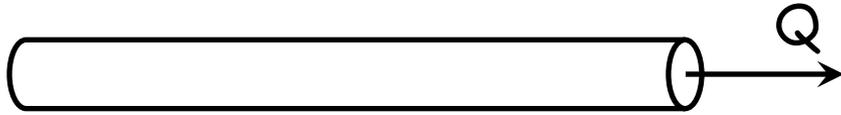
- **Schematics:** è l'editor grafico usato per *disegnare* il circuito da simulare e specificare il tipo di analisi
- **Pspice A/D:** *simula* il circuito. Costruisce e un *modello matematico* a partire dai modelli dei componenti e dalle leggi fondamentali dell'elettrotecnica e risolve le equazioni risultanti
- **Probe:** fornisce una *visualizzazione grafica* dei risultati, tensioni correnti e grandezze da esse derivate
- **Text Edit:** fornisce un *file di testo* che permette di stampare i risultati

Fattori di scala

Per maggior comodità è possibile esprimere i valori numerici per mezzo di fattori di scala riportati in tabella

Simbolo	Valore	Nome del suffisso
T	10^{12}	tera
G	10^9	giga
MEG	10^6	mega
K	10^3	kilo
M	10^{-3}	milli
U	10^{-6}	micro
N	10^{-9}	nano
P	10^{-12}	pico
F	10^{-15}	femto

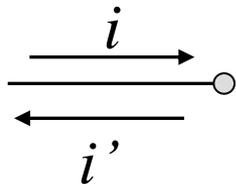
Grandezze Descrittive



Intensità di Corrente:

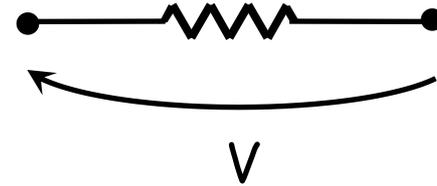
Quantità di carica netta che attraversa la sezione del conduttore nell'unità di tempo

$$I = \frac{dQ}{dt}$$



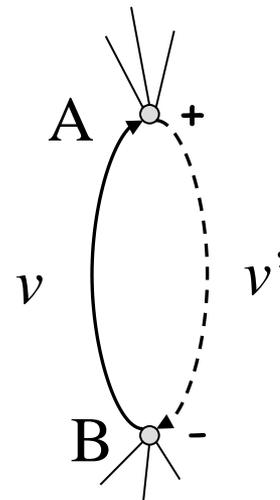
$$i = i(t)$$

$$i = -i'$$



Differenza di Potenziale:

Lavoro che il campo elettrico compie nel portare una carica unitaria da un punto del circuito ad un altro



$$v = v_{AB}$$

$$v' = -v = v_{BA}$$

Leggi di Kirchhoff

$$\text{LKV: } \sum V = 0$$

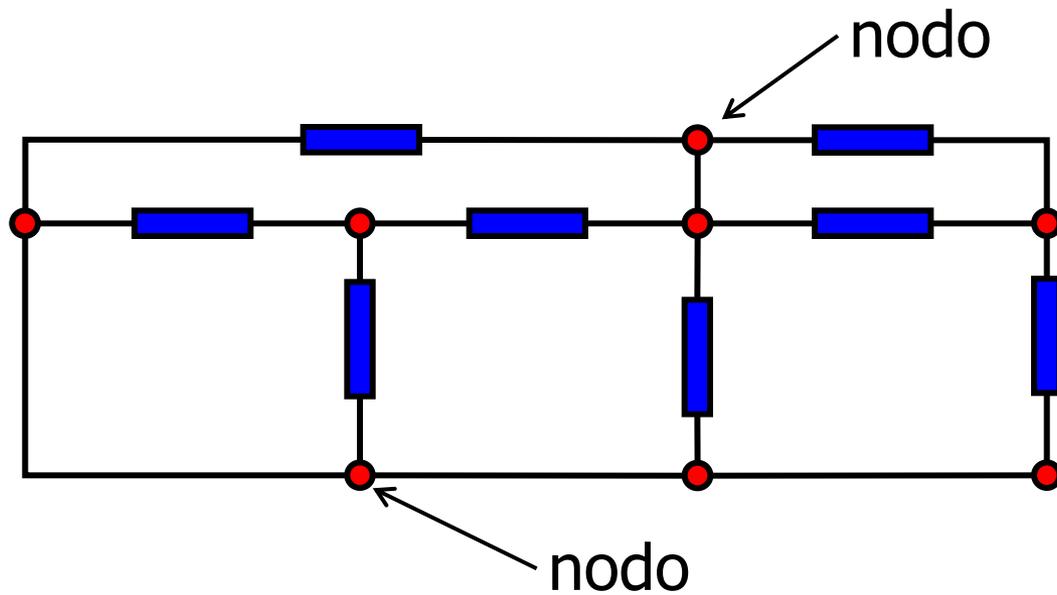
La somma algebrica delle differenze di potenziale calcolati lungo un qualunque percorso chiuso è pari a zero

$$\text{LKC: } \sum I = 0$$

La somma algebrica delle correnti che attraversano una qualunque superficie chiusa è pari a Zero

CIRCUITO ELETTRICO

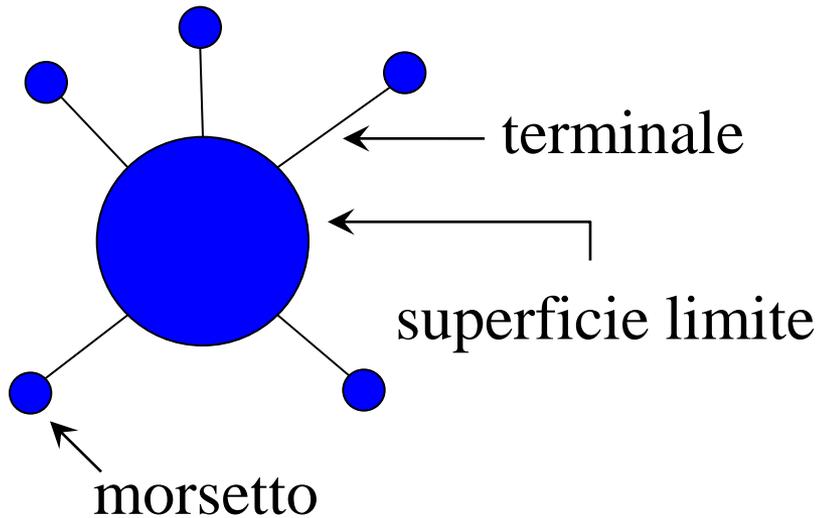
E' un insieme di componenti elettrici connessi tra loro mediante conduttori perfetti



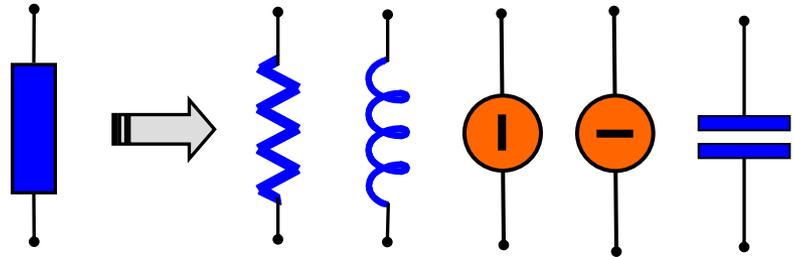
Schema a blocchi di un Circuito Elettrico di soli Bipoli

COMPONENTI

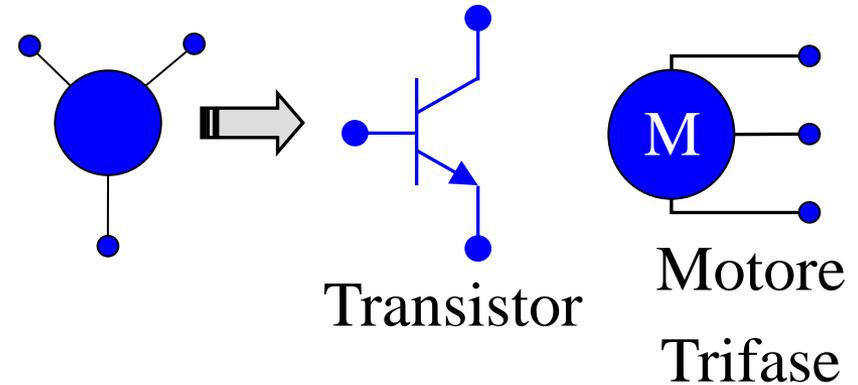
MULTIPOLO



BIPOLO



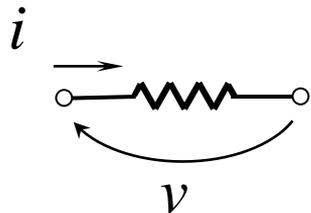
TRIPOLO



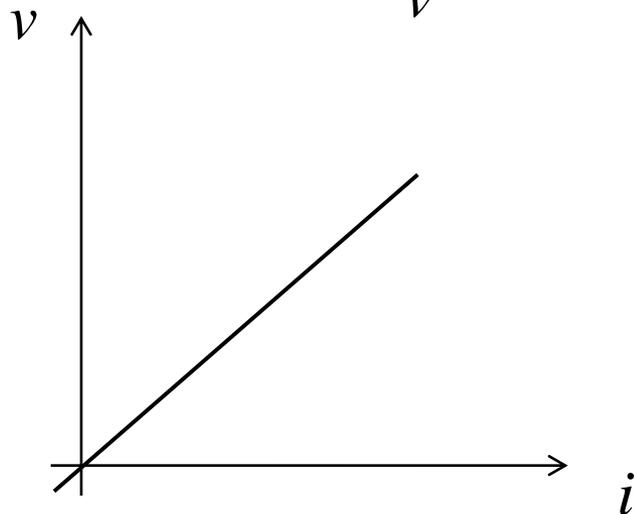
COLLEGAMENTO

Due o più componenti si dicono collegati se hanno uno o più morsetti in comune

RESISTORE e LEGGE di OHM



$$v = R \cdot i \quad i = \frac{1}{R} \cdot v = G \cdot v$$



per un conduttore di lunghezza l e sezione A :

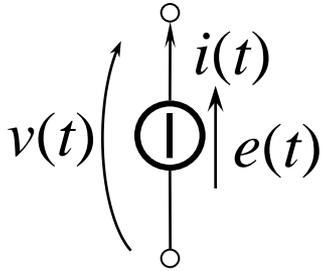
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{l}{A} \quad [\Omega]$$

Il resistore è un componente passivo dissipativo, questo significa che dissipa potenza senza mai restituirla; La potenza viene dissipata sotto forma di calore per effetto Joule

$$P = v \cdot i = R \cdot i^2 = \frac{v^2}{R}$$

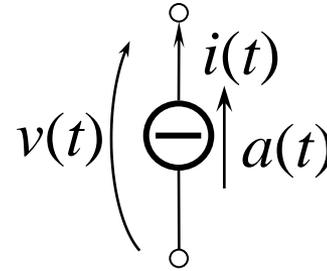
GENERATORI IDEALI

Generatore ideale di tensione



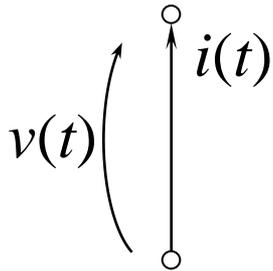
$$v(t) = e(t)$$

Generatore ideale di corrente



$$i(t) = a(t)$$

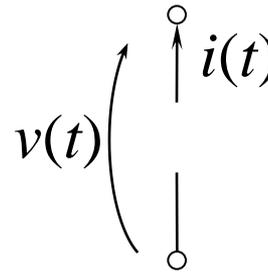
Corto Circuito



$$v(t) = 0$$

Caso degenere del generatore di tensione o del resistore di resistenza nulla

Circuito Aperto

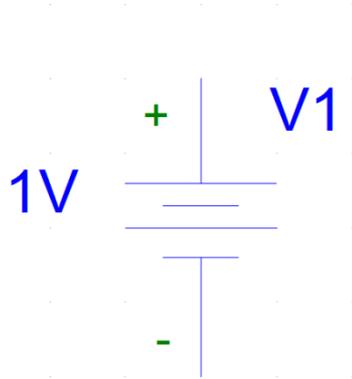


$$i(t) = 0$$

Caso degenere del generatore di corrente o del resistore di resistenza infinita o conduttanza nulla

GENERATORI IDEALI

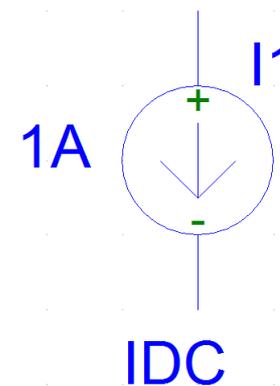
Generatore ideale di tensione



Corto Circuito



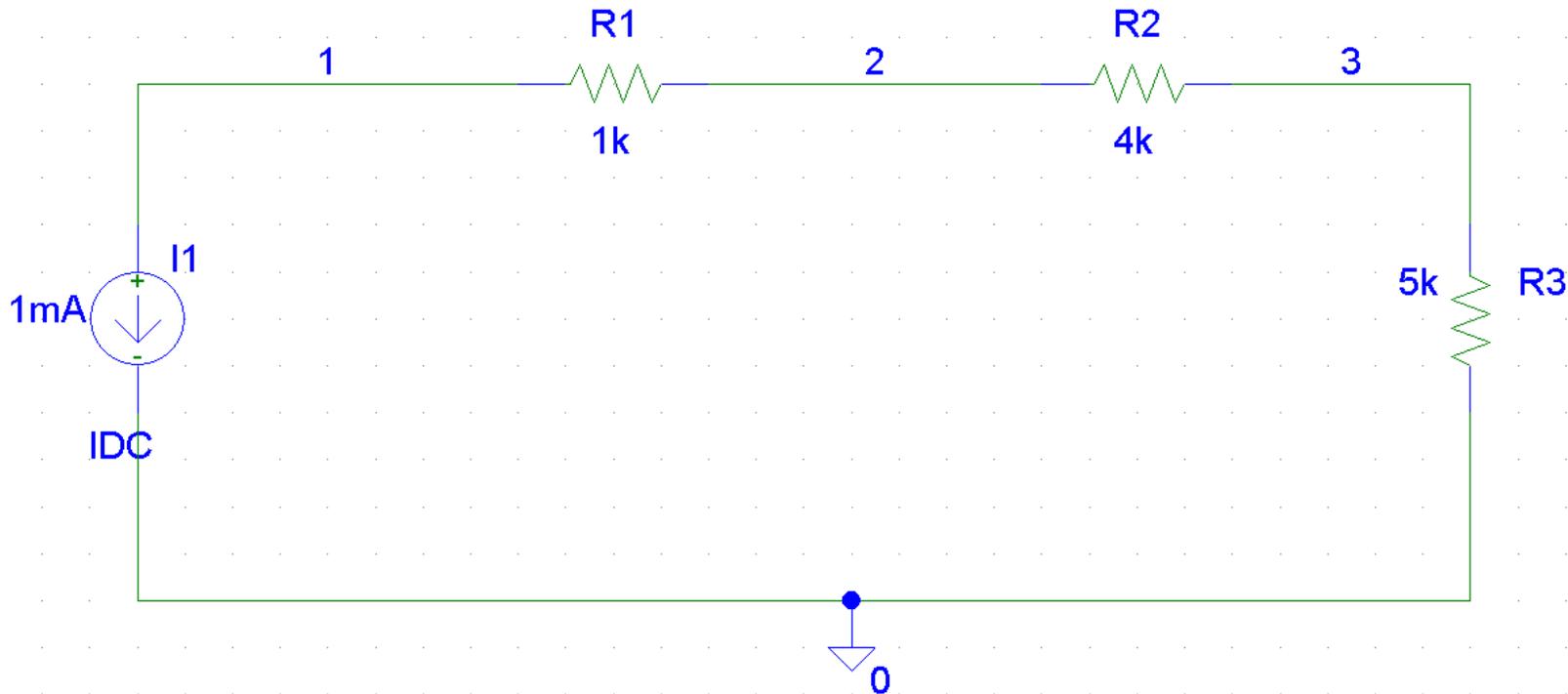
Generatore ideale di corrente



Circuito Aperto

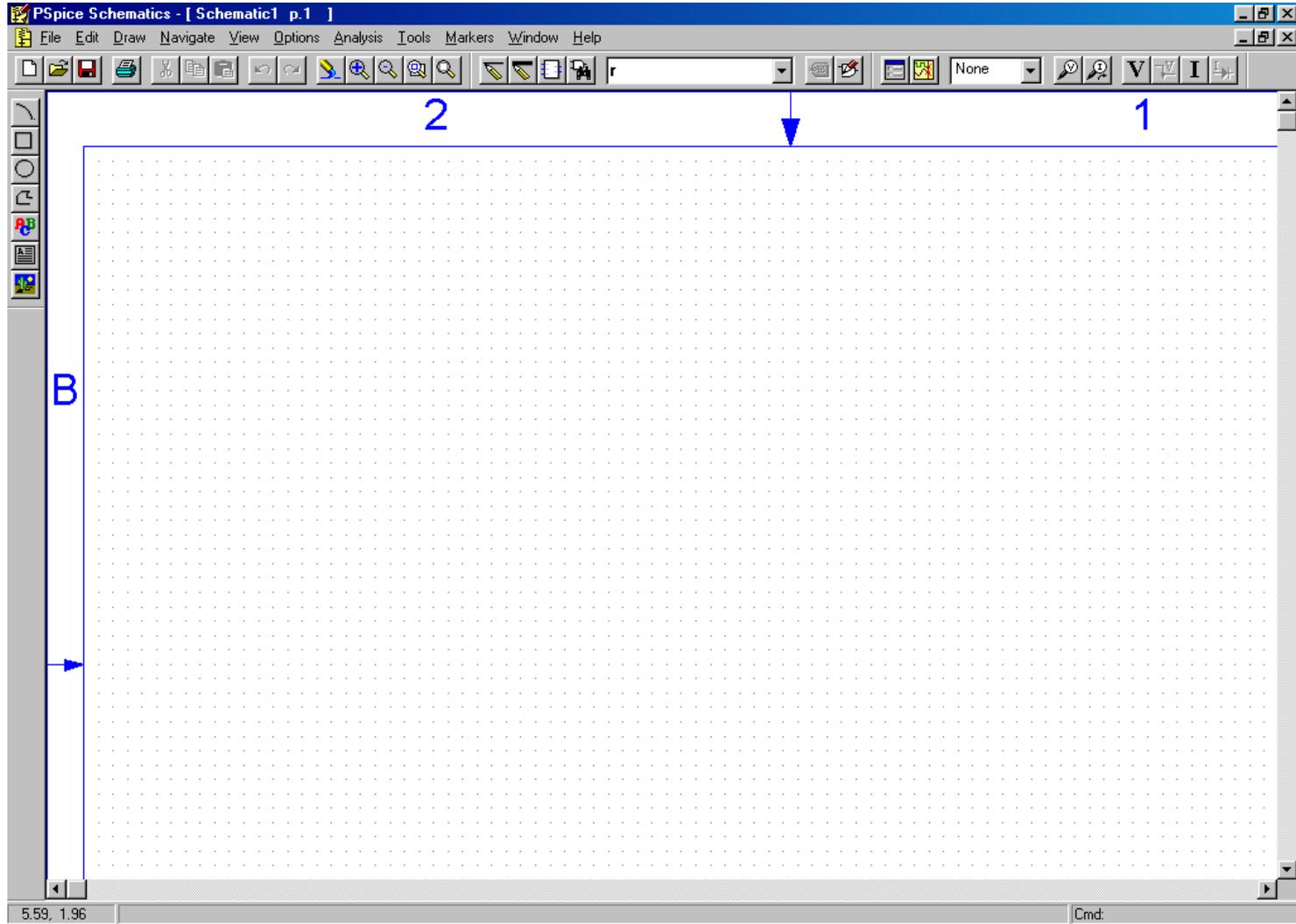


ESERCIZIO 1



- ❑ **Visualizzare** sulla finestra grafica la tensioni ei nodi e la corrente che circola nel circuito
- ❑ Usando i risultati della simulazione **Verificare** la LKV lungo il percorso chiuso 1-2-3-0-1.

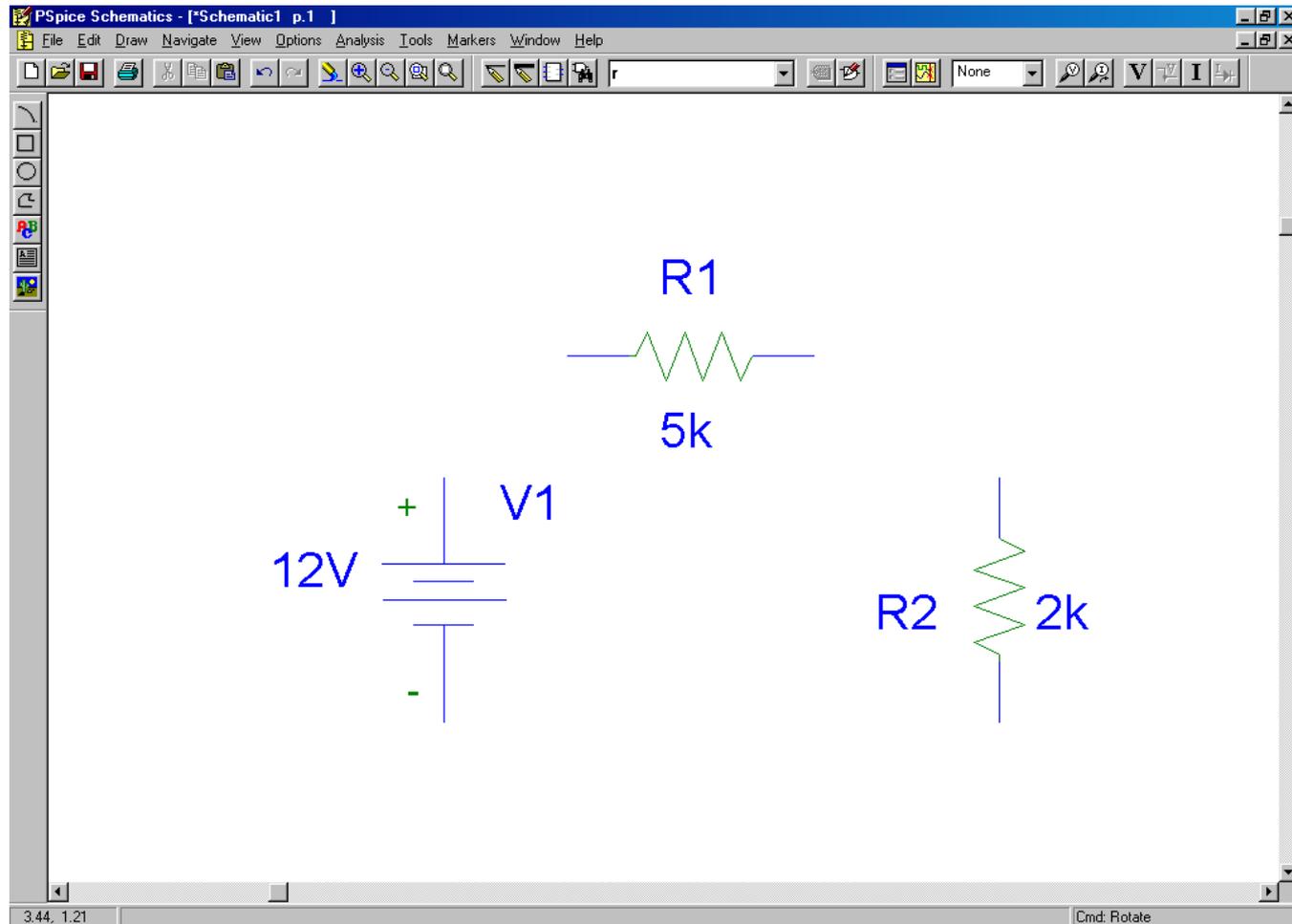
Schematics



Creazione dei circuiti con Schematics

- Locazione dei componenti del circuito
- Collegamento dei componenti tra loro per formare il circuito
- Modifica degli attributi dei componenti

Locazione dei componenti

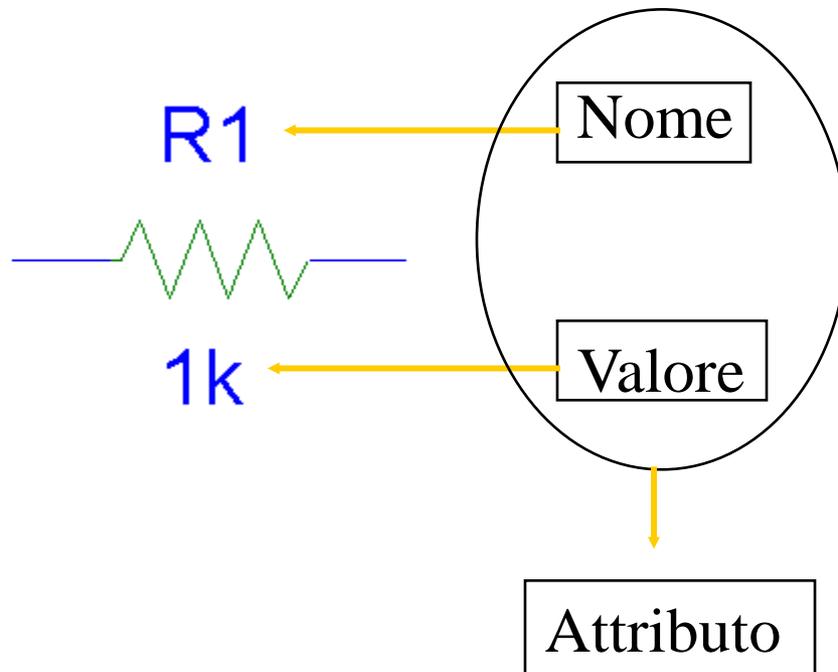


Locazione dei componenti

- Draw/Get new part
- Selezionare il componente, click su Place o Place & Close
- Spostare il mouse fino alla posizione desiderata sullo schermo
- Click con il pulsante destro per terminare la modalità di locazione

Per ruotare: <Ctrl R> o Edit/Rotate (rotazione antioraria)

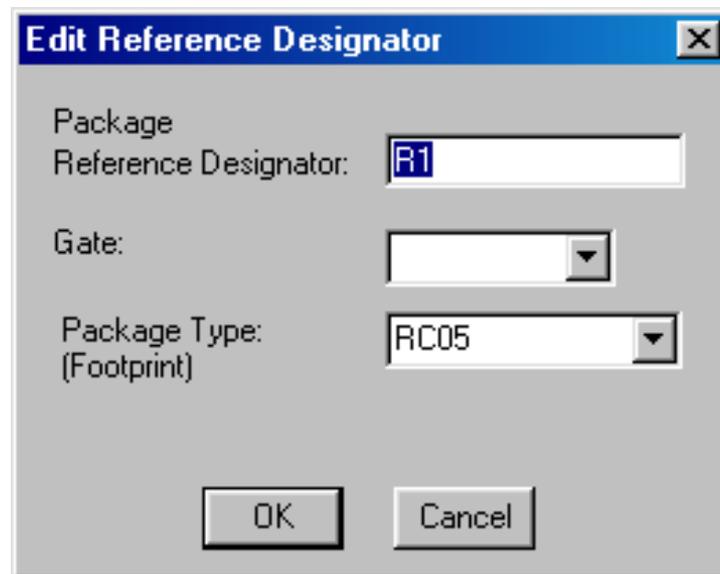
Modifica degli attributi delle parti



Ciascun attributo consiste di un *nome* e del suo corrispondente *valore*

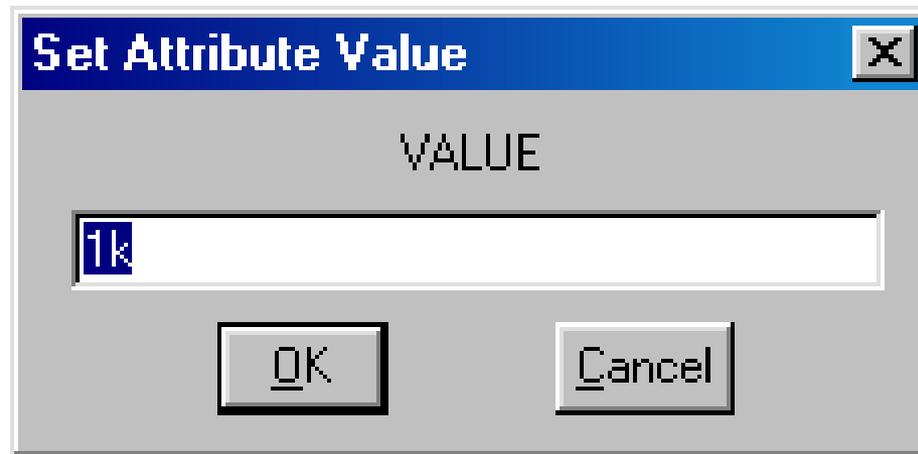
Modifica degli attributi dei componenti

Cliccando sul nome attiviamo la finestra di dialogo **Edit Reference Designator**

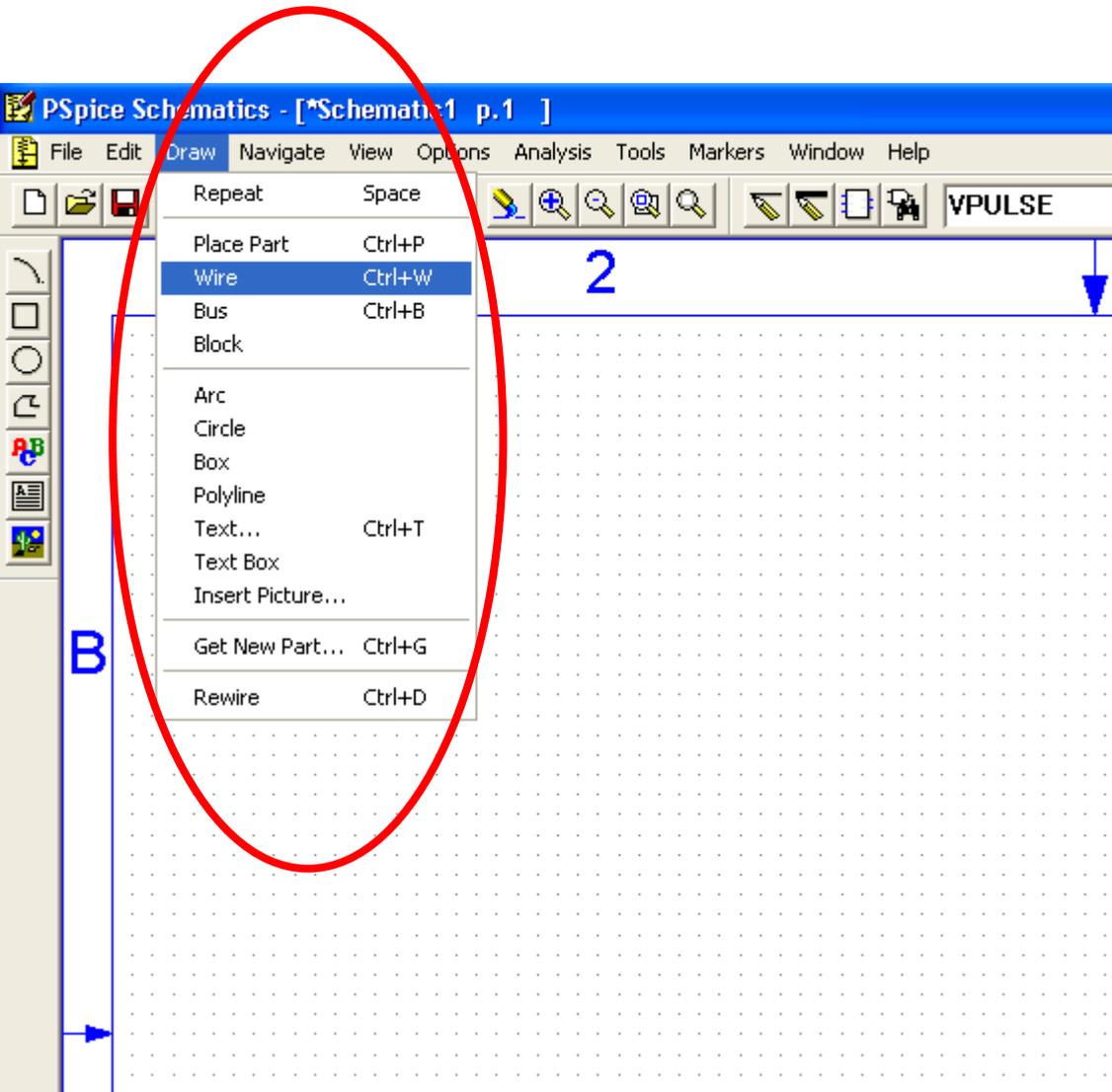


Modifica degli attributi dei componenti

Cliccando sul valore attiviamo la finestra di dialogo **Set Attribute Value**



Collegamento dei componenti



Draw/Wire (o <Ctrl W>)



con il cursore si collegano i punti

Numerazione dei nodi

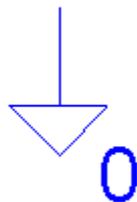
Generico nodo

Doppio click sul filo di connessione



Inserire il numero del nodo

Nodo di riferimento a potenziale nullo

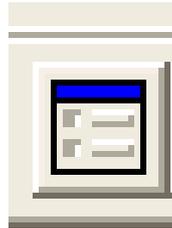


AGND=analog ground

Analysis setup

Definizione del punto di lavoro:

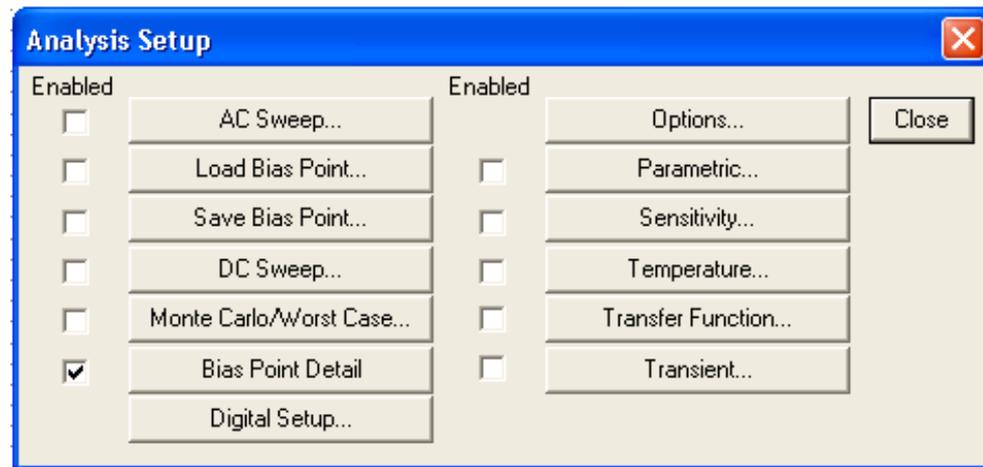
- L'impostazione delle varie simulazioni effettuabili avviene attraverso un'apposita finestra richiamabile mediante l'icona



oppure selezionando dal menu Analisis la voce Setup

Analysis setup

Regime stazionario: tutte le tensioni e tutte le correnti del circuito sono costanti nel tempo -> Analysis Setup: Bias point:



- Salvare lo schematico (file *.sch)

Simulazione

- Si esegue Pspice selezionando Analysis/Simulate o premendo il pulsante sulla barra degli strumenti:



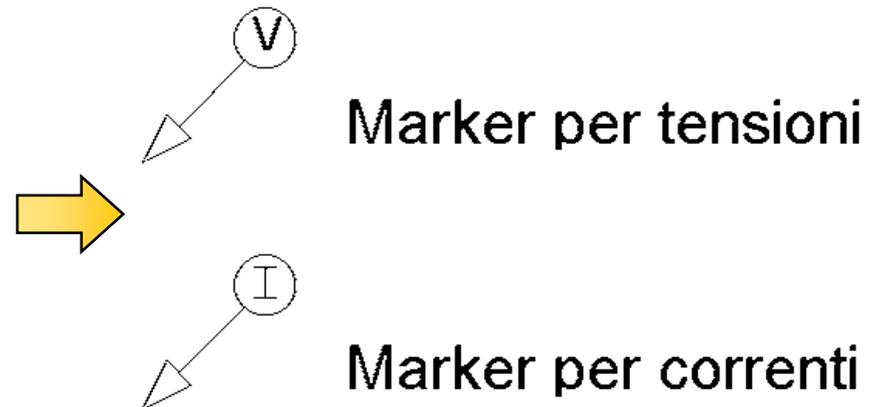
- Se ci sono errori, viene creata la error list
- Se non ci sono errori, il sistema avvia PSpice automaticamente ed esegue la simulazione

Altri elementi del circuito

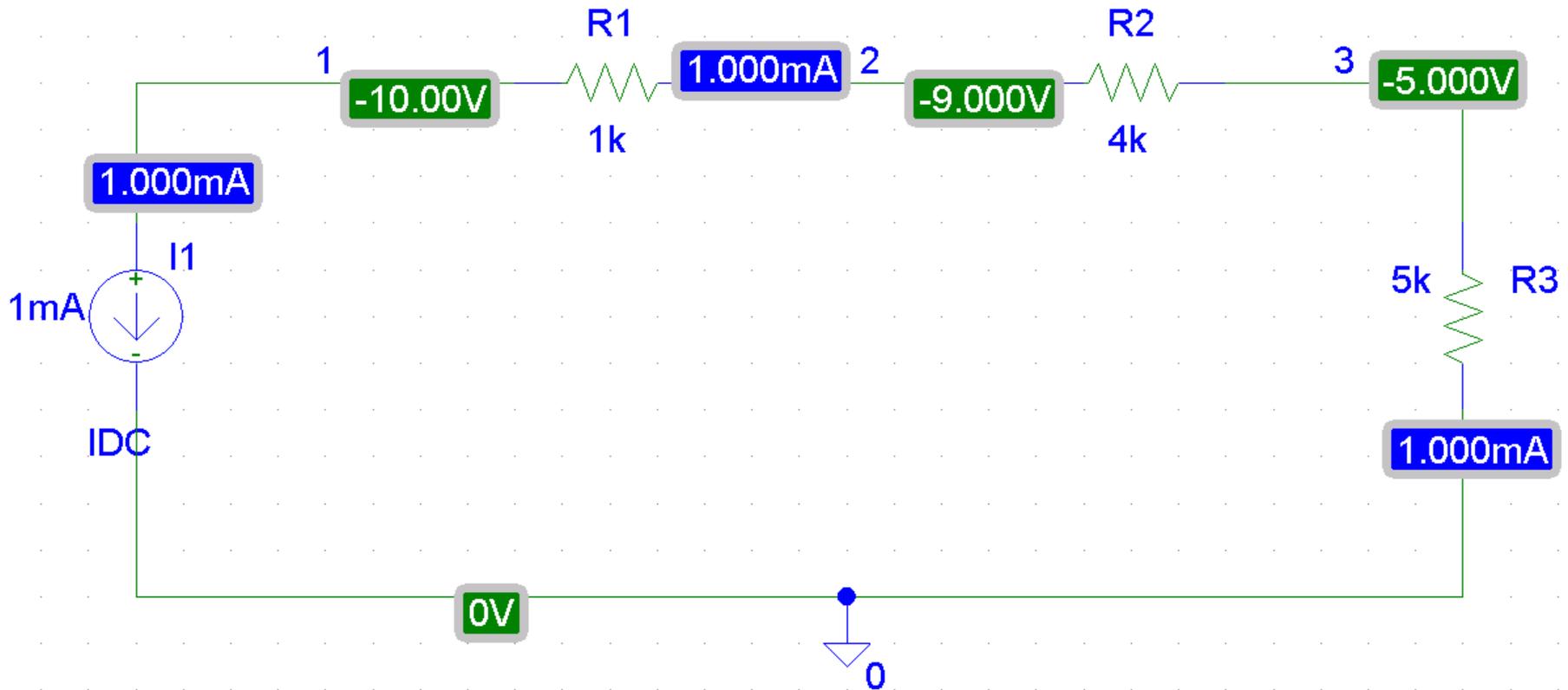


Selezionando V ed I potete visualizzare direttamente sul foglio grafico le correnti nei rami e le tensioni ai nodi corrispondenti ad un determinato punto di lavoro

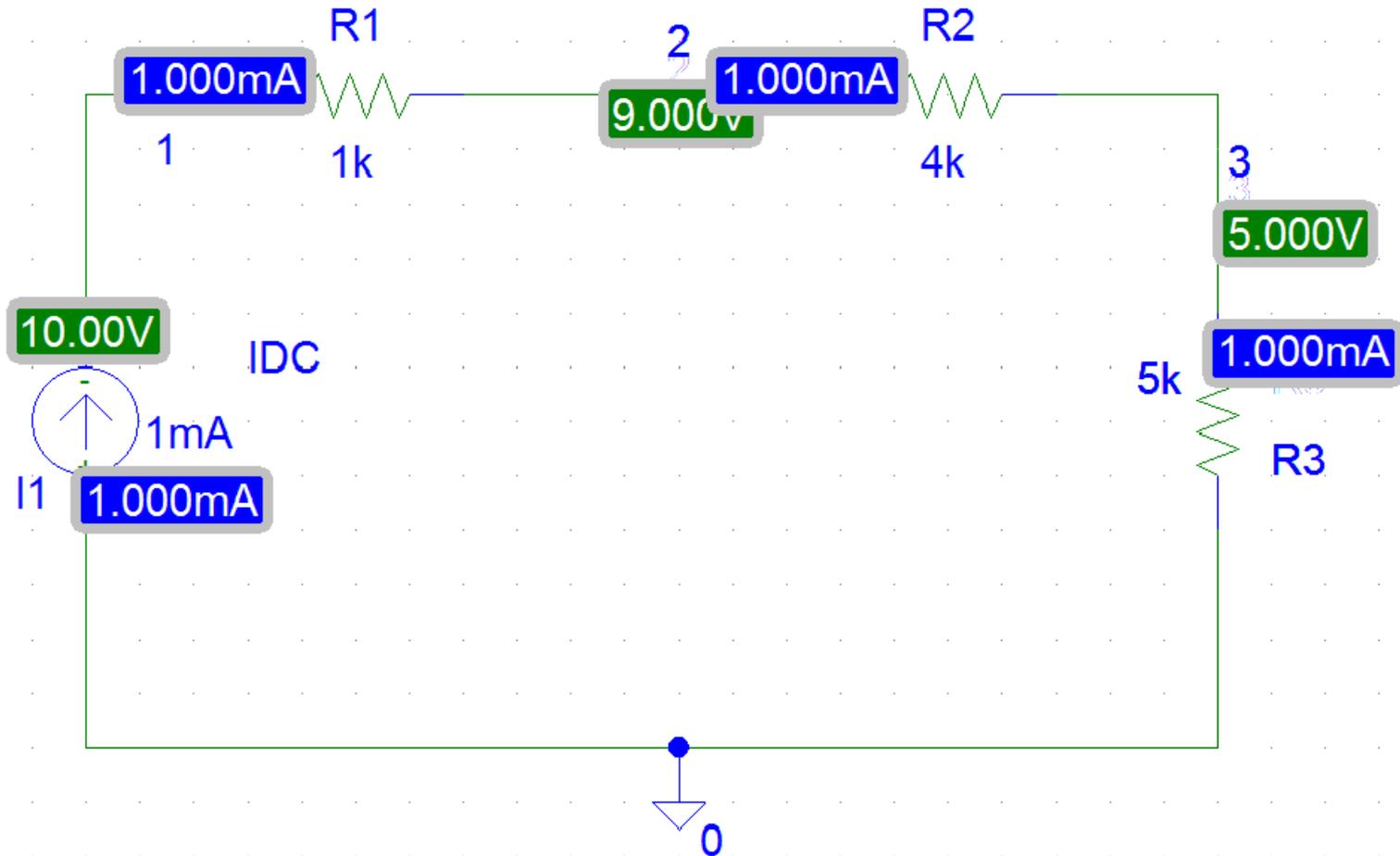
Sul foglio grafico possono essere specificate tensioni e le correnti che si intende visionare facendo uso di appositi marker



Risultati riportati nella finestra grafica

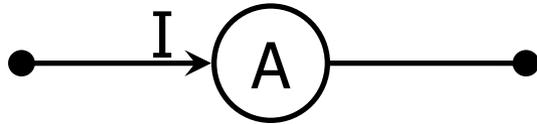


Risultati riportati nella finestra grafica



STRUMENTI DI MISURA

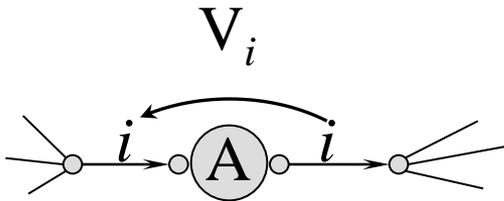
CORRENTE



Ampere-metro

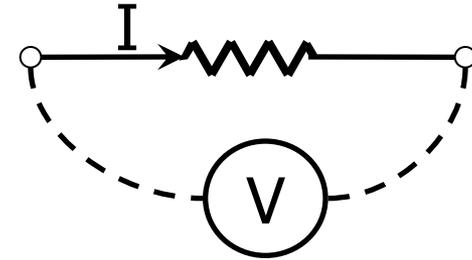
UNITA' DI MISURA: Ampère (A)

inserzione



V_i piccolissima \rightarrow ideale $r_i = 0$

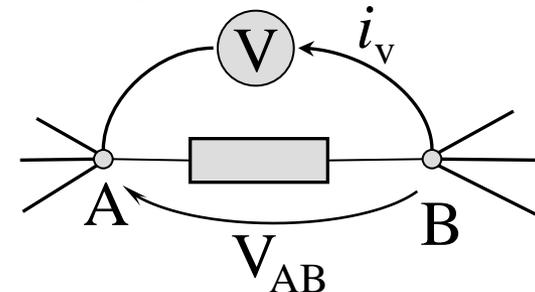
TENSIONE



Volt-metro

UNITA' DI MISURA: Volt (V)

inserzione



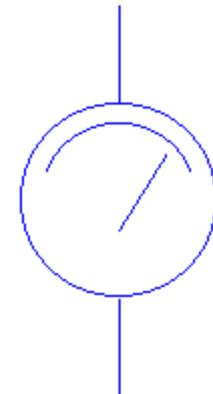
i_v piccolissima \rightarrow ideale $r_v = \infty$

Voltmetri e Amperometri

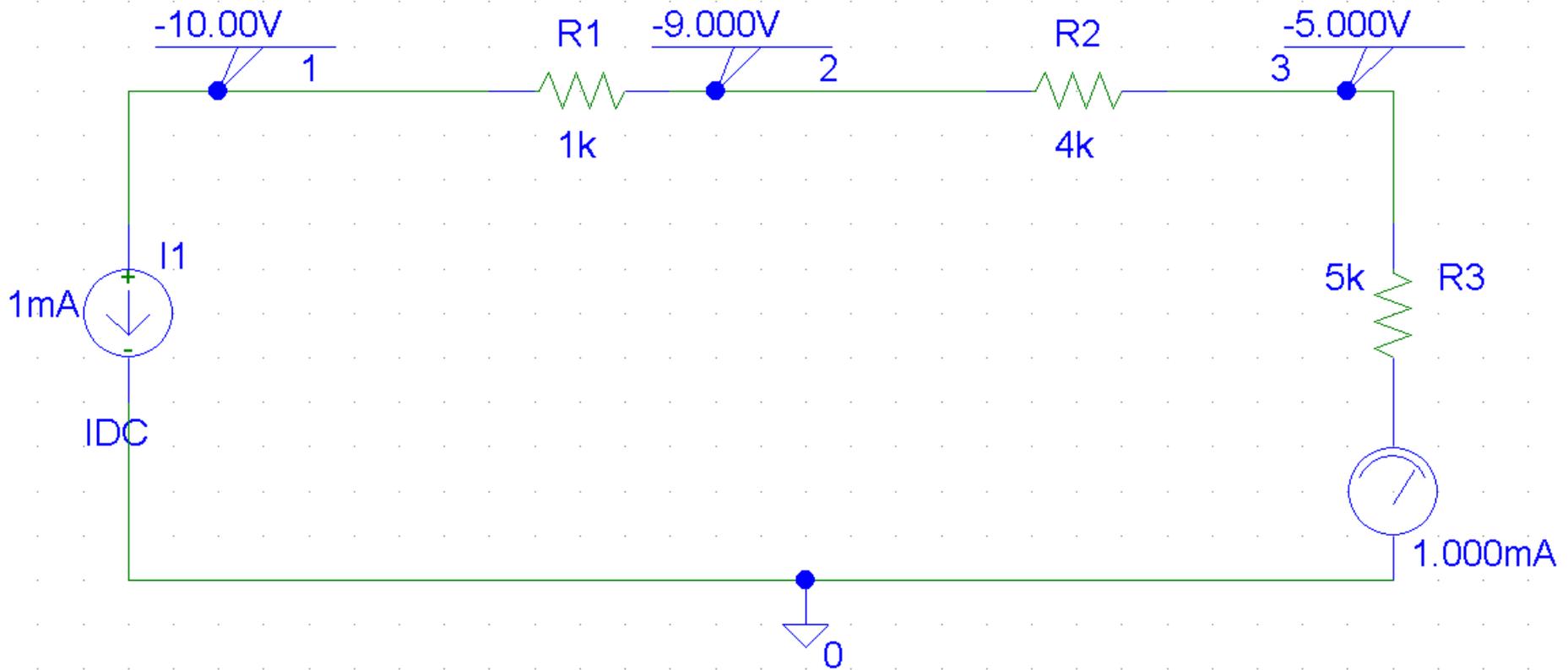
Inseriamo 2 voltmetri
Viewpoint



Inseriamo 1 amperometro
Iprobe



Risultati riportati nella finestra grafica



Simulazione

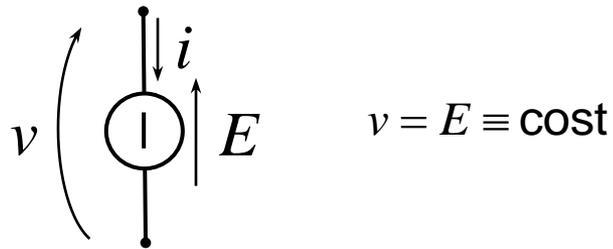
- Se non viene indicato il tipo di analisi da effettuare, PSpice si limiterà a calcolare il punto di lavoro in regime stazionario

Analisi dei circuiti in regime stazionario

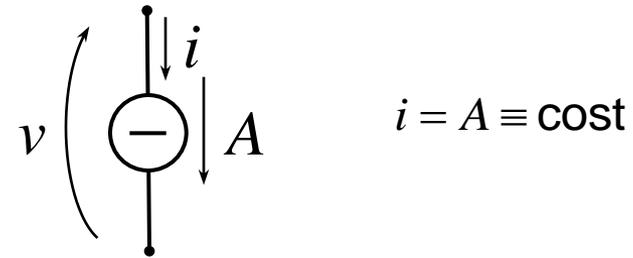
COMPONENTI ELEMENTARI DEI CIRCUITI IN REGIME STAZIONARIO

Circuiti assolutamente stabili, in presenza di eccitazioni costanti nel tempo:

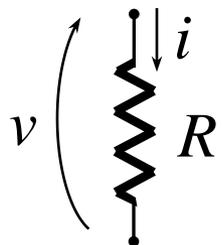
Generatore indipendente di tensione



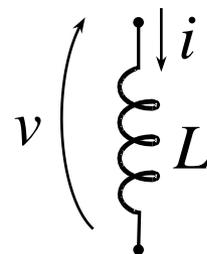
Generatore indipendente di corrente



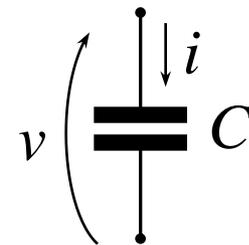
Resistore



Induttore



Condensatore



- I Legge di Kirchhoff (legge di Kirchhoff delle correnti LKC)

$$\Sigma i = 0$$

- II Legge di Kirchhoff (legge di Kirchhoff delle tensioni LKV)

$$\Sigma v = 0$$

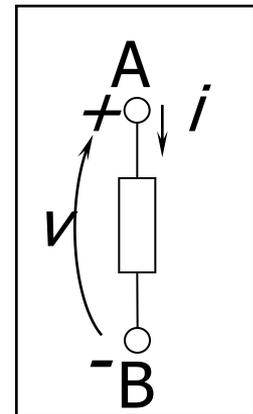
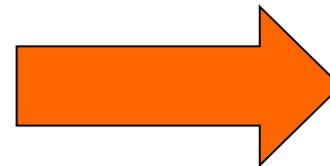
- Conservazione della potenza

$$\Sigma p = 0$$

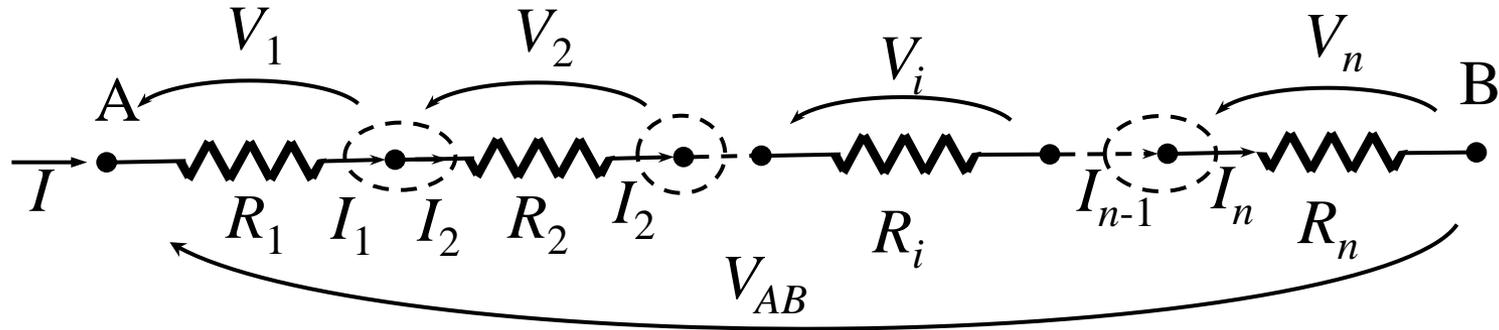
- Legge di Ohm

$$V = Ri$$

- Convenzione degli utilizzatori



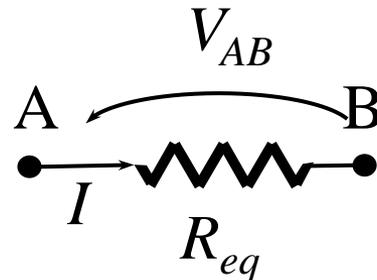
RESISTORI IN SERIE



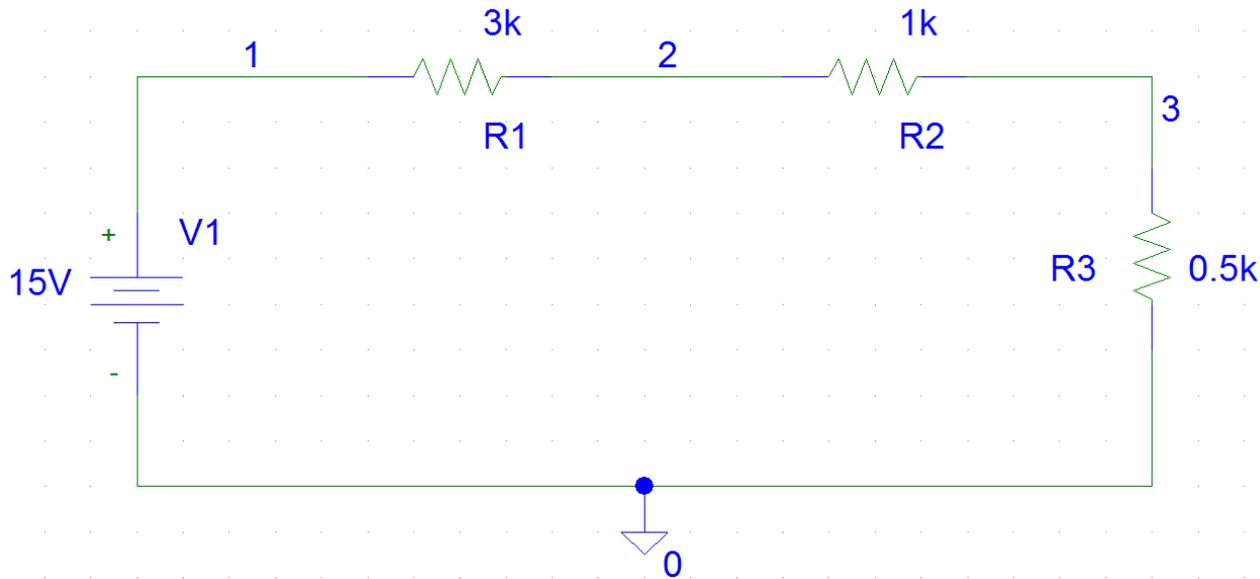
$$I_1 = I_2 = \dots = I_i = \dots = I_n = I$$

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_1 + V_2 + \dots + V_i + \dots + V_n = \\ &= R_1 I_1 + R_2 I_2 + \dots + R_n I_n = \\ &= (R_1 + \dots + R_n) \cdot I = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n R_i \cdot I = \\ &= R_{eq} \cdot I \quad \Rightarrow \end{aligned}$$



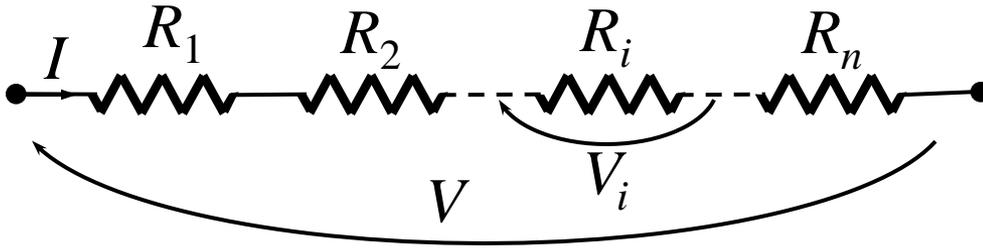
RESISTORI IN SERIE



Analysis type:
Bias point

- ❑ Visualizzare sulla finestra grafica le tensioni ai nodi e la corrente del circuito
- ❑ Verificare che la somma delle c.d.t lungo un percorso chiuso è nulla
- ❑ Disegnare il circuito equivalente circuito equivalente e verificare che:
 - ✓ la corrente che percorre i 2 circuiti è la stessa

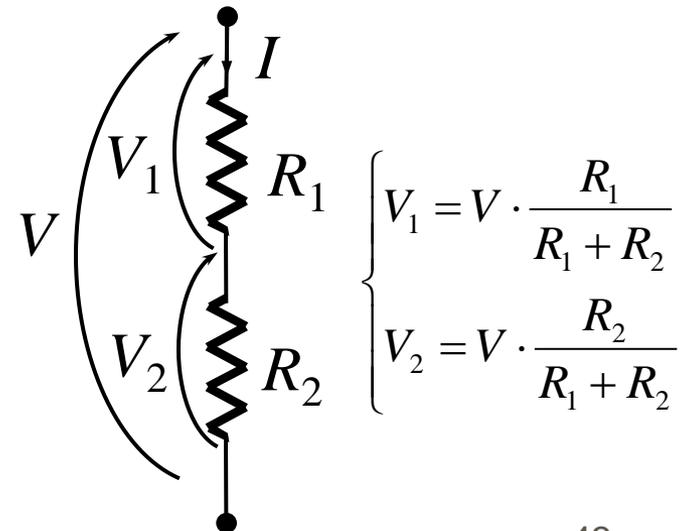
PARTITORE DI TENSIONE



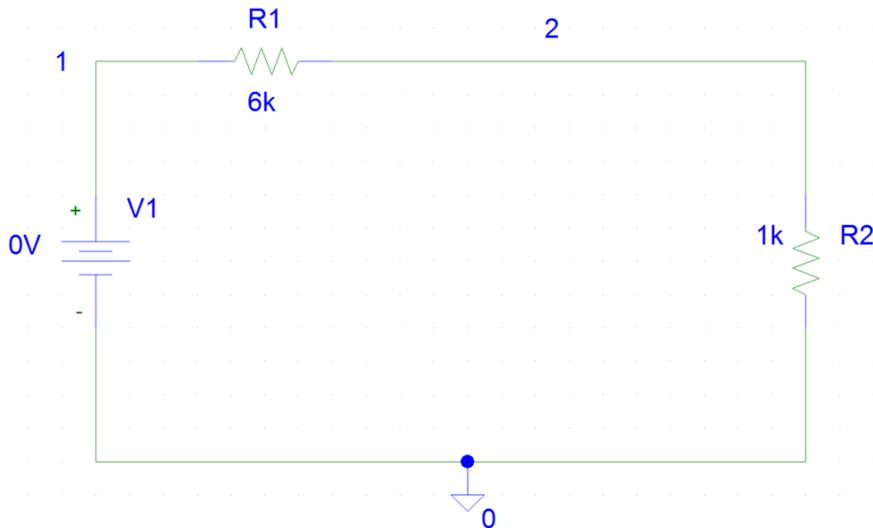
$$V_i = R_i I \quad V = (R_1 + \dots + R_n) I \Rightarrow I = V / \sum_h R_h$$

$$V_i = V \cdot \frac{R_i}{R_{eq}} = V \cdot \frac{R_i}{\sum_h R_h}$$

Nel caso di due soli resistori:



PARTITORE DI TENSIONE



Analisi parametrica:

Analysis type: DC Sweep

Sweep variable: Voltage source

Start value: 0V

End value: 20 V

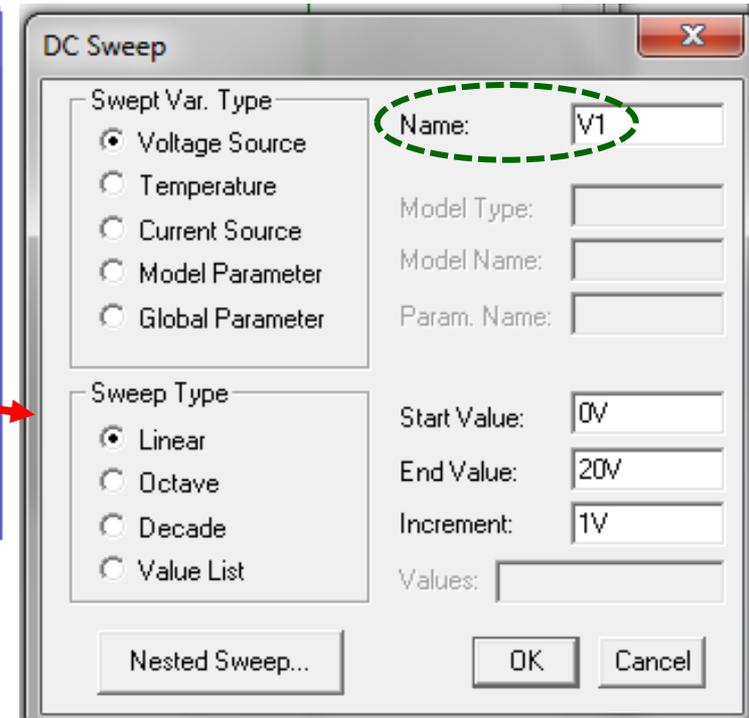
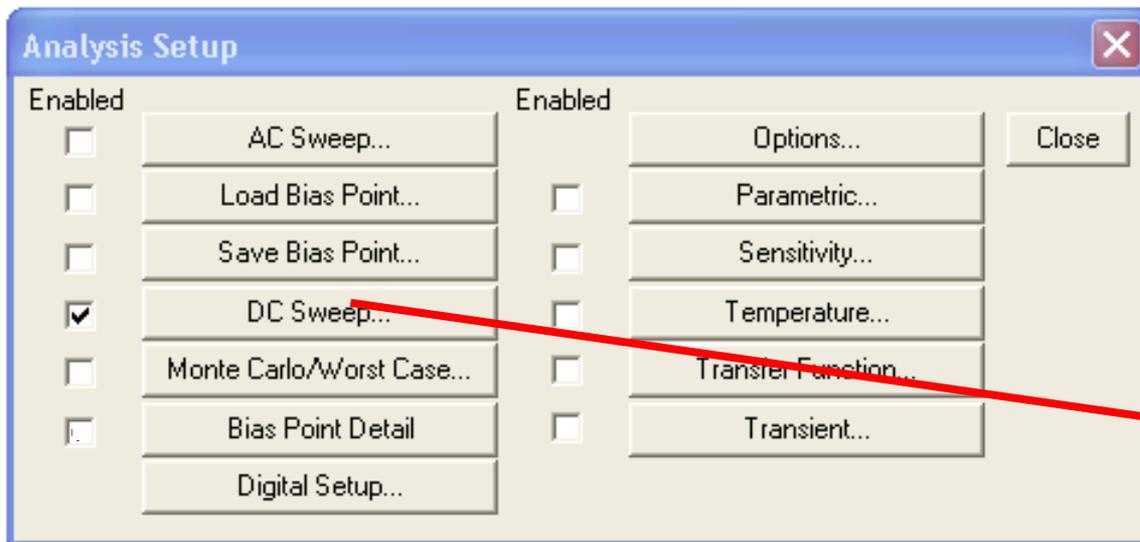
Increment: 1V

- ❑ **Visualizzare graficamente sul prob** le c.d.t sulle resistenze e le tensioni ai nodi al variare della tensione del generatore
- ❑ **Calcolare** la c.d.t sulle due resistenze usando la regola del partitore di tensione in corrispondenza di $V_1=12V$, verificare il risultato sul probe
- ❑ Sostituire il generatore di tensione con un generatore di corrente costante di 2mA, aggiungere una resistenza da 3 K Ω in serie alle precedenti resistenze e **calcolare**:
- ✓ la c.d.t tra il nodo 1 ed il nodo 0 e la c.d.t sulle 3 resistenze e verificarle con la regola del partitore di tensione. Fare un'analisi *Bias Point* e verificare i risultati ottenuti.

Analisi parametrica

Analysis Setup: DC Sweep...

si rende variabile un generatore o un parametro nel calcolo del punto di lavoro

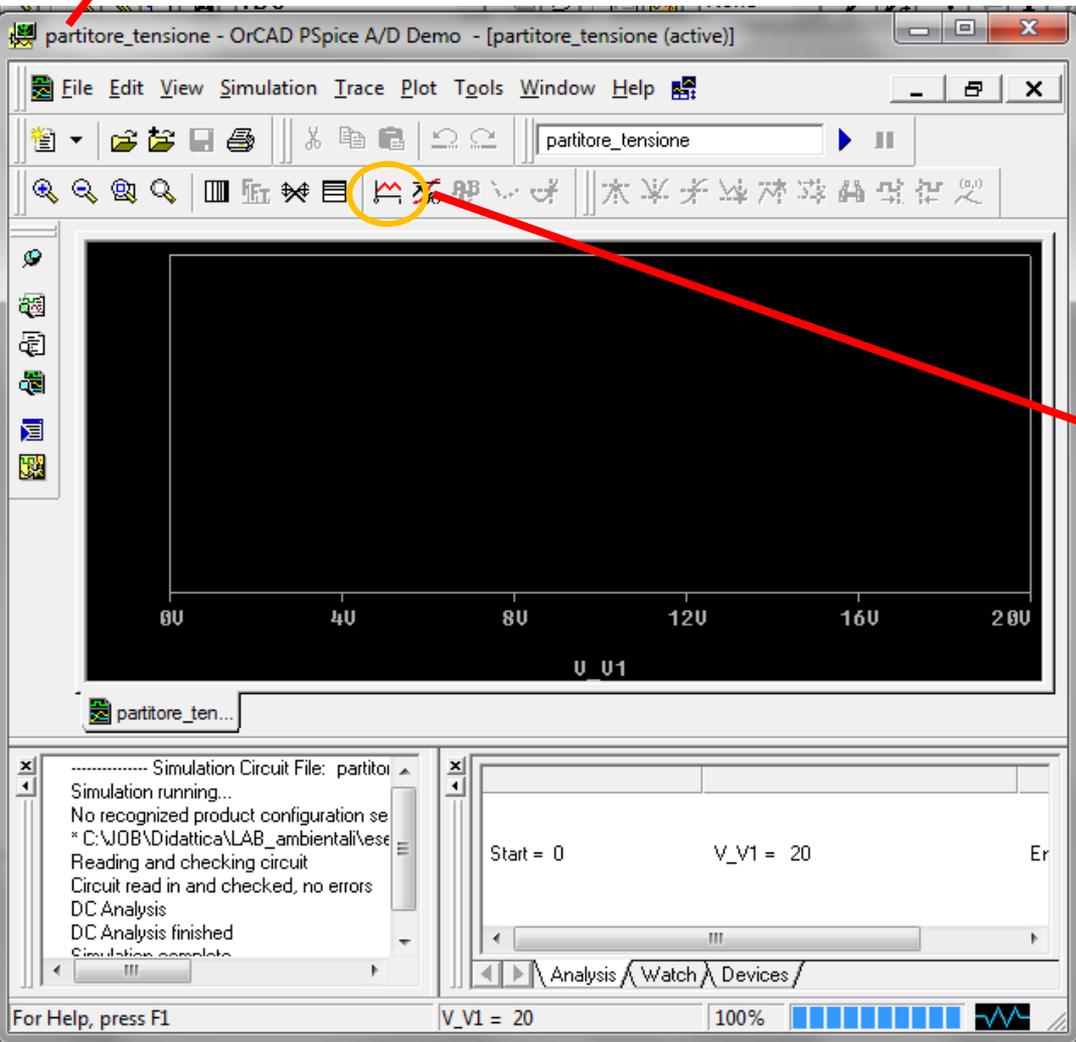


Nel campo **Name** va inserito il nome che avete stato dato **nel circuito** al generatore o al componente che rappresenta il parametro che vogliamo rendere variabile

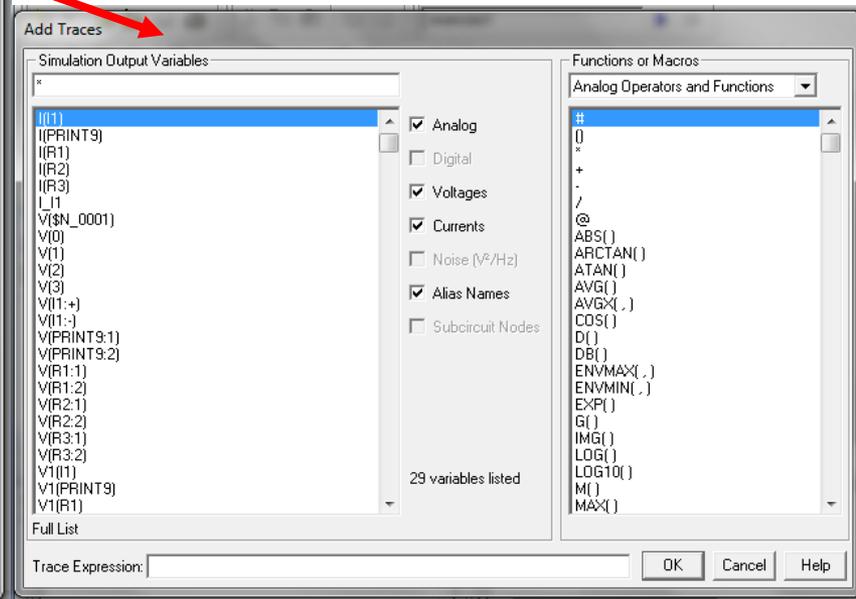
Post-processing: Probe

View/simulation results

Sul prob per mezzo del pulsante **Trace/add-trace** possiamo disegnare gli andamenti delle diverse grandezze del circuito al variare del parametro scelto

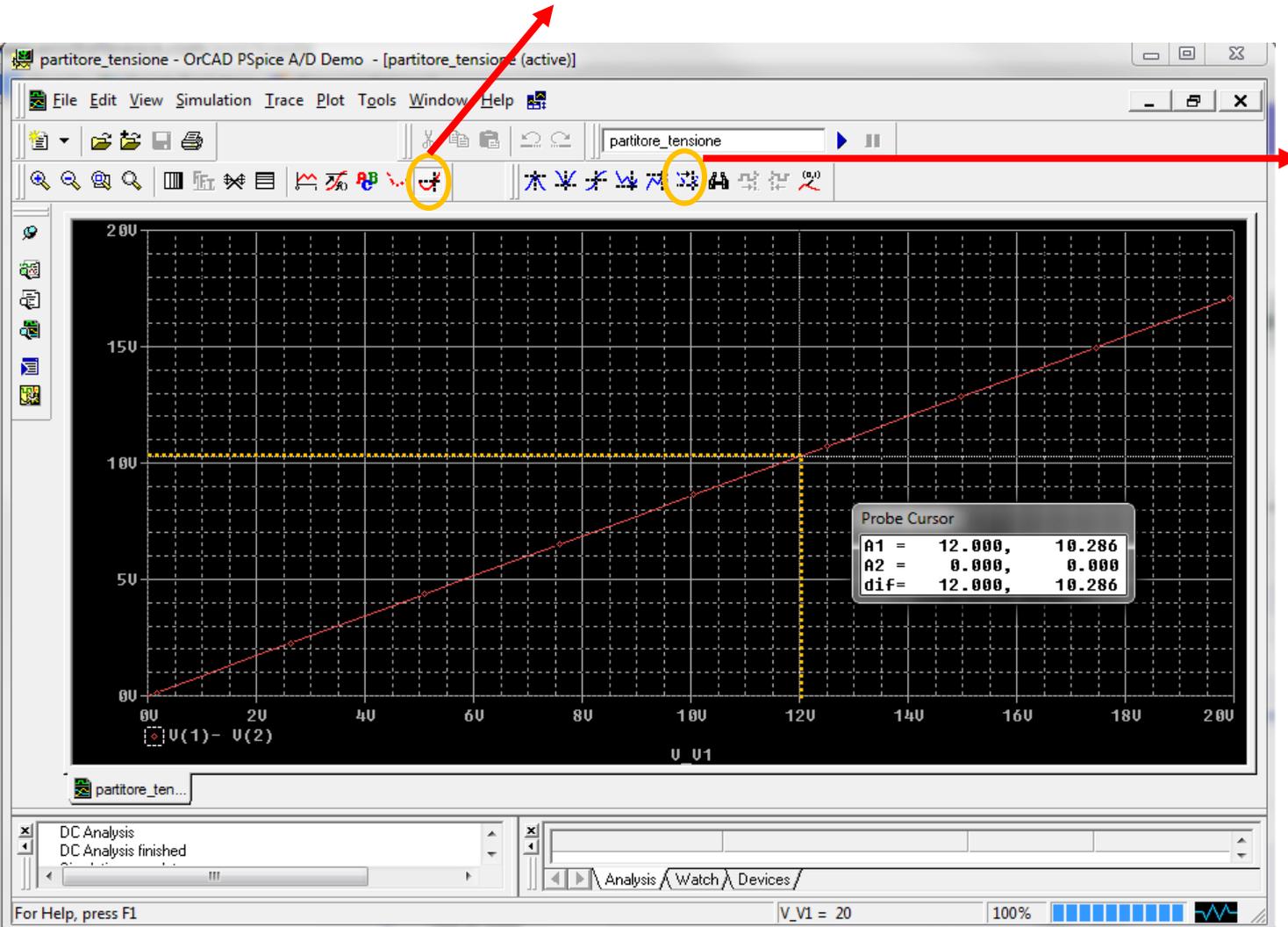


Trace/add trace



Post-processing: Probe

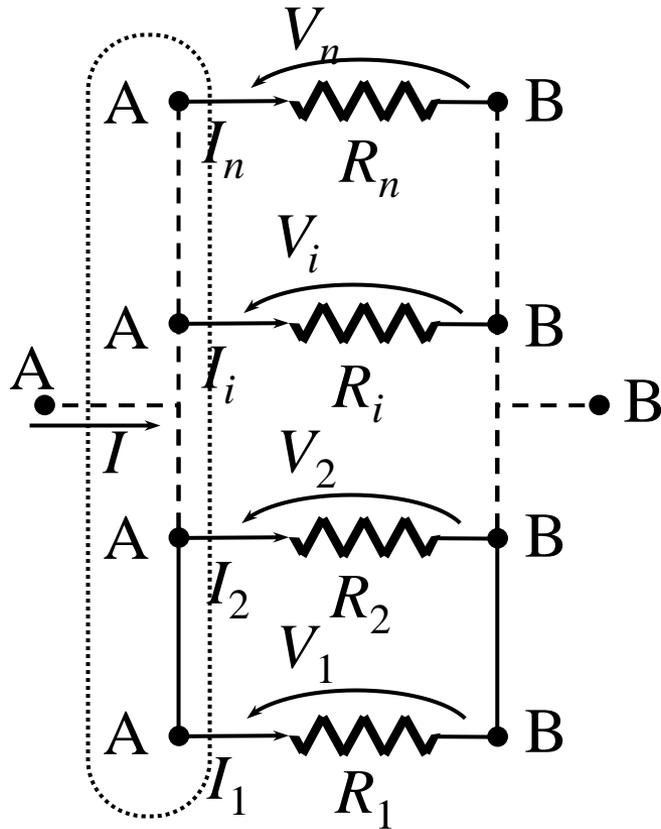
Per mezzo di questo tasto attiviamo tutti i cursori alla sua destra



Con il **Cursor Point** possiamo leggere sulla mascherina il valore che assume una grandezza al variare del parametro scelto

Per semplice:
Per $V_1 = 12V$
 $V_1 - V_2 = 10.286V$

PARALLELO DI RESISTORI



$$V_i = R_i I_i \quad I_i = \frac{V_i}{R_i} = G_i V_i$$

$$V_1 = V_2 = \dots = V_i = V_n = V$$

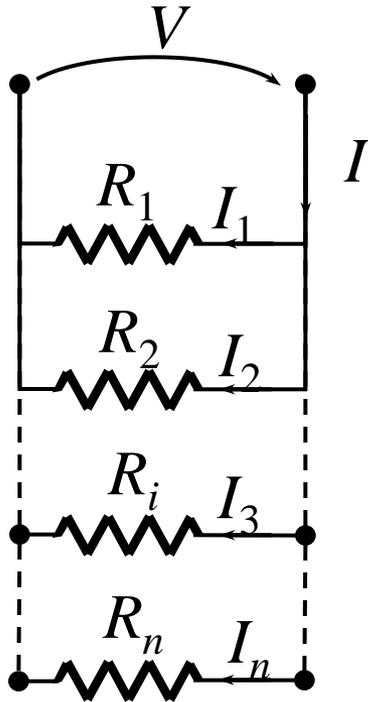
$$I = I_1 + \dots + I_n = \frac{V_1}{R_1} + \dots + \frac{V_n}{R_n} =$$

$$= \left(\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot V = (G_1 + \dots + G_n) \cdot V$$

$$= \sum_{i=1}^n G_i \cdot V = G_{eq} \cdot V = \frac{V}{R_{eq\parallel}}$$

$$\frac{1}{R_{eq\parallel}} = \sum_i \frac{1}{R_i} \Rightarrow R_{eq\parallel} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

PARTITORE DI CORRENTE

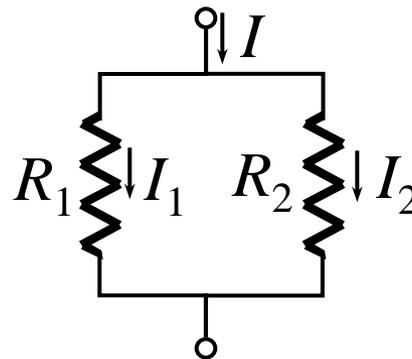


$$I_i = \frac{V}{R_i} = V \cdot G_i$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = V \cdot G_{eq} = \frac{V}{R_{eq}}$$

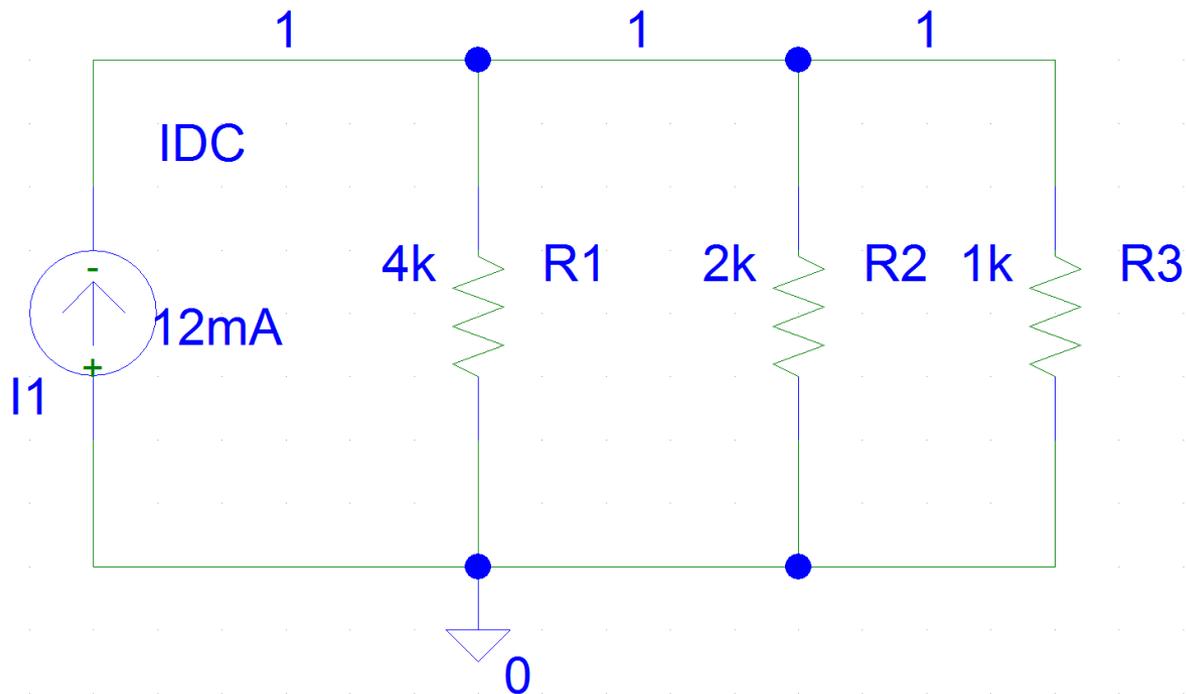
$$I_i = \frac{G_i}{G_{eq}} \cdot I = \frac{R_{eq\parallel}}{R_i} \cdot I = \left(\frac{1}{R_i} \Big/ \frac{1}{R_{eq\parallel}} \right) \cdot I$$

Nel caso di due soli resistori:



$$\begin{cases} I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

PARALLELO DI RESISTORI

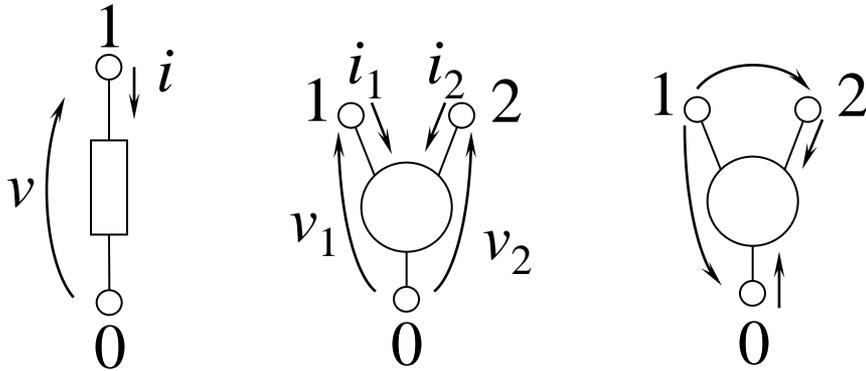


Setup:
Bias Point

- ❑ **Determinare** le correnti nei singoli rami con la regola del partitore di corrente, verificare i risultati sulla finestra grafica
- ❑ **Verificare** che la somma delle correnti assorbite da tutti gli elementi è uguale a quella erogata dal generatore
- ❑ Disegnare il circuito equivalente, e **verificare** che la tensione ai capi dal generatore di corrente sia la stessa nei due circuiti

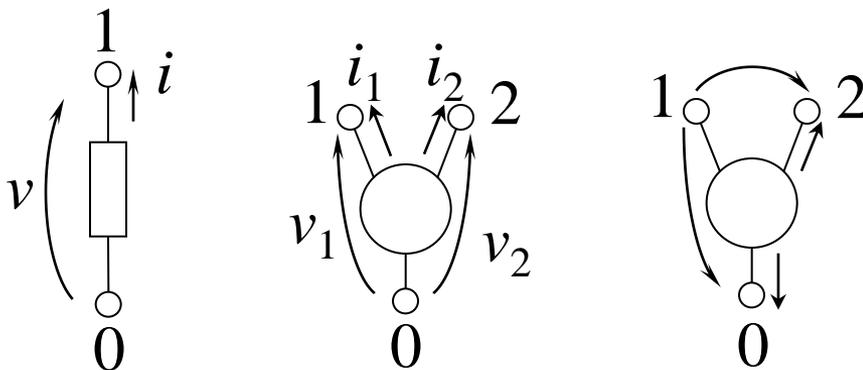
CONVENZIONI

convenzione degli utilizzatori



La potenza è positiva se **utilizzata**
(la potenza utilizzata può essere accumulata o dissipata)

convenzione dei generatori



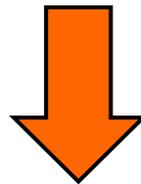
Potenza è positiva se **generata**

Conservazione dell'energia

$$p = \frac{dL}{dt}$$

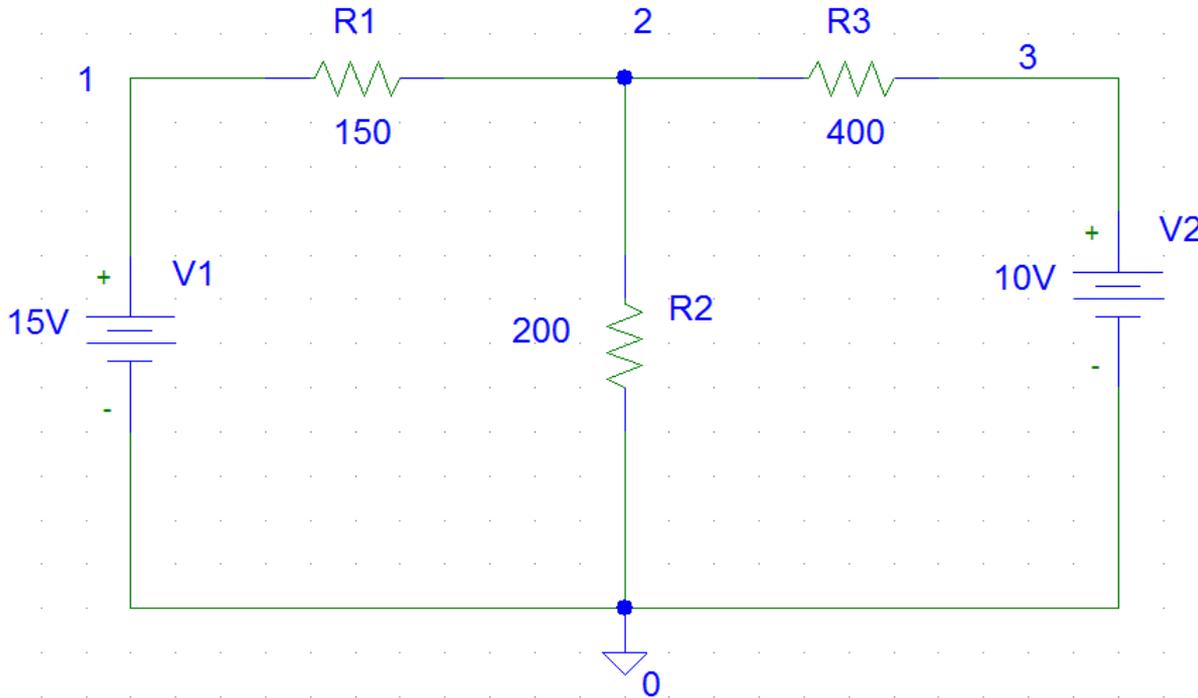
Il principio di conservazione dell'energia deve essere soddisfatto da tutti i circuiti elettrici

$$\sum p = 0$$



$$\sum P_{generata} = \sum P_{utilizzata}$$

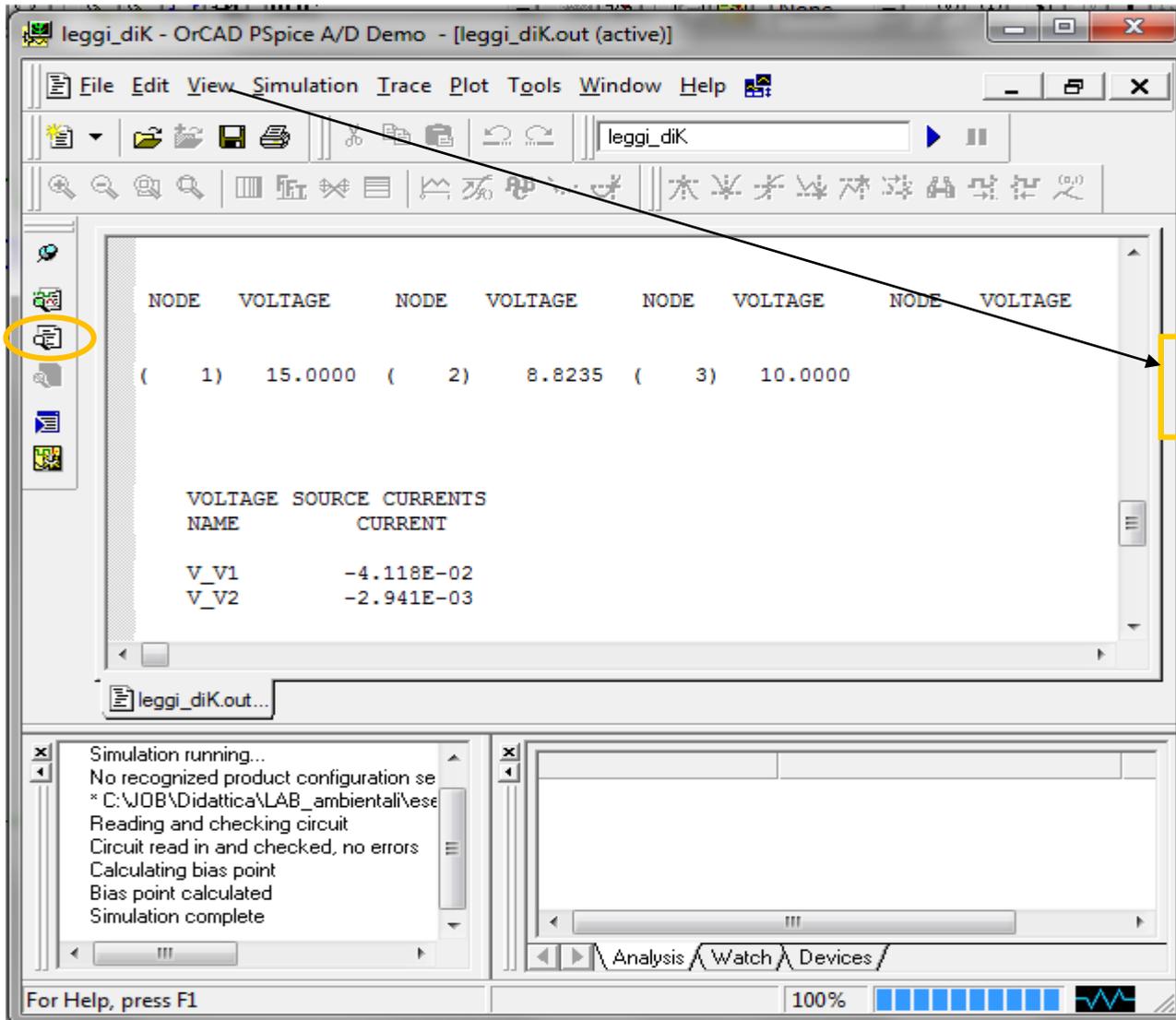
Verifica delle leggi di Kirchhoff



Setup: Bias Point

- ❑ **Visualizzare** sulla finestra grafica le tensioni ai nodi e le correnti nei rami. Verificare la LKC ai nodi 2 e 0, e la LKV lungo i percorsi chiusi (maglie) 1-2-0-1 e 2-3-0-2
- ❑ **Calcolare** le potenza totale dissipata o erogata da ogni componente e verificare la conservazione delle potenze.

Post-processing: text edit



View/output file

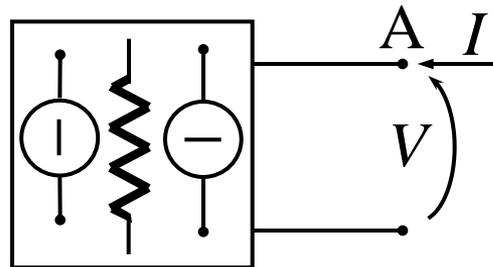
Risultati

Riassumendo, i risultati della simulazione possono essere:

- direttamente riportati sul circuito nella finestra grafica *schematics*
- riportati in forma grafica ricorrendo all'uso del *post-processore (Probe)*
- stampati su file di testo.

Principio di Sovrapposizione

In una **rete lineare**, comunque complessa, contenente N generatori lineari, le tensioni e le correnti in ciascun ramo possono essere determinate *sommando i contributi* dovuti ai singoli generatori presenti, agenti uno alla volta.

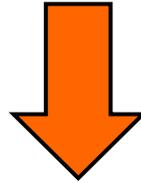


Passivazione dei generatori:

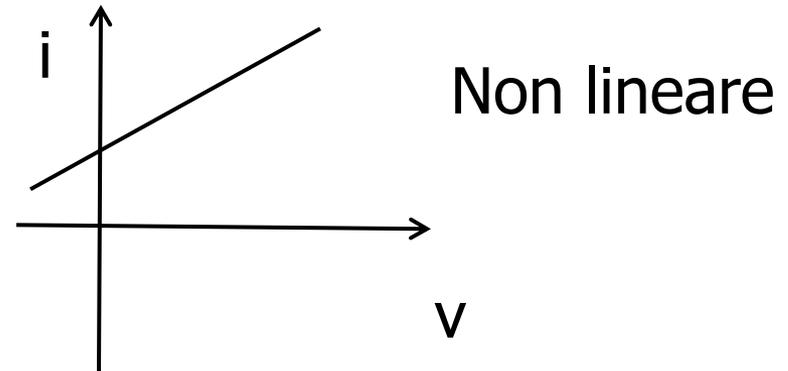
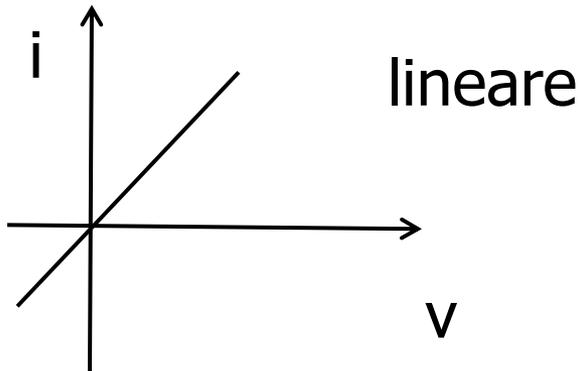
Generatore di corrente \implies circuito aperto (corrente nulla)
Generatore di tensione \implies corto circuito (tensione nulla)

Proprietà generali dei componenti

Linearità: Un componente o un circuito è lineare se l'effetto dovuto ad una qualsiasi causa è proporzionale alla stessa



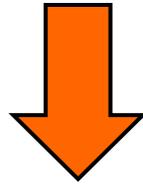
se è verificato il PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE degli EFFETTI allora il componente È lineare



È lineare se l'effetto dovuto a più cause che agiscono contemporaneamente è la somma degli effetti dovuti a ciascuna causa considerata come se agisse da sola

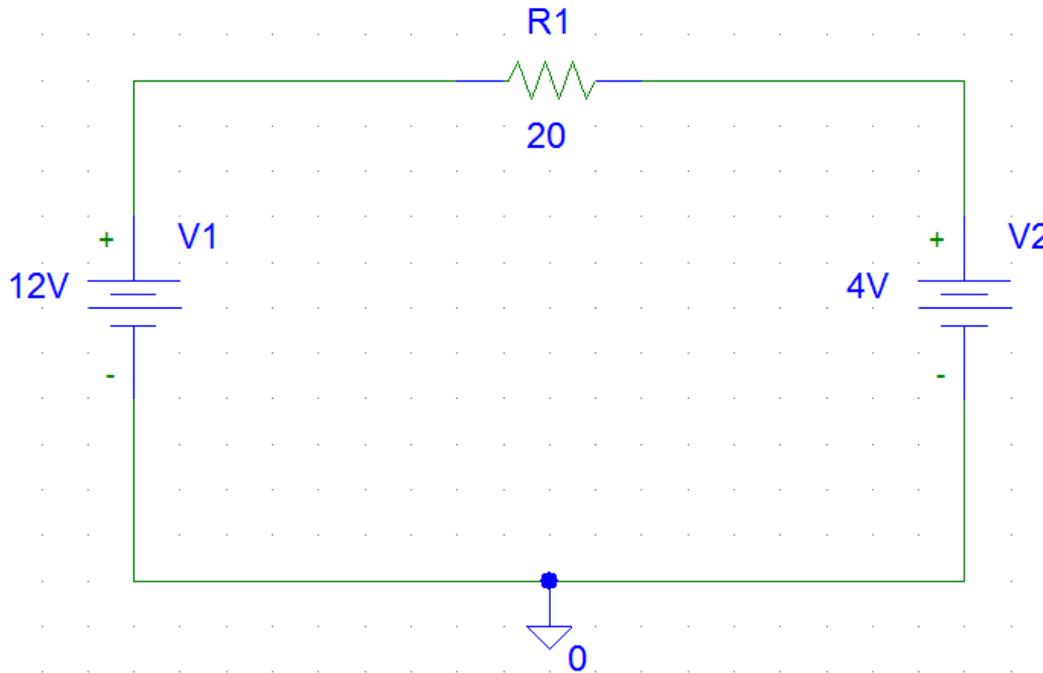
Proprietà generali dei componenti

passività: l'effetto di una qualsiasi causa di breve durata si mantiene limitato al passare del tempo.



Un componente o un circuito passivo può erogare energia ma per un intervallo di tempo limitato, tale energia sarà in quantità inferiore o al massimo uguale a quella accumulata in precedenza

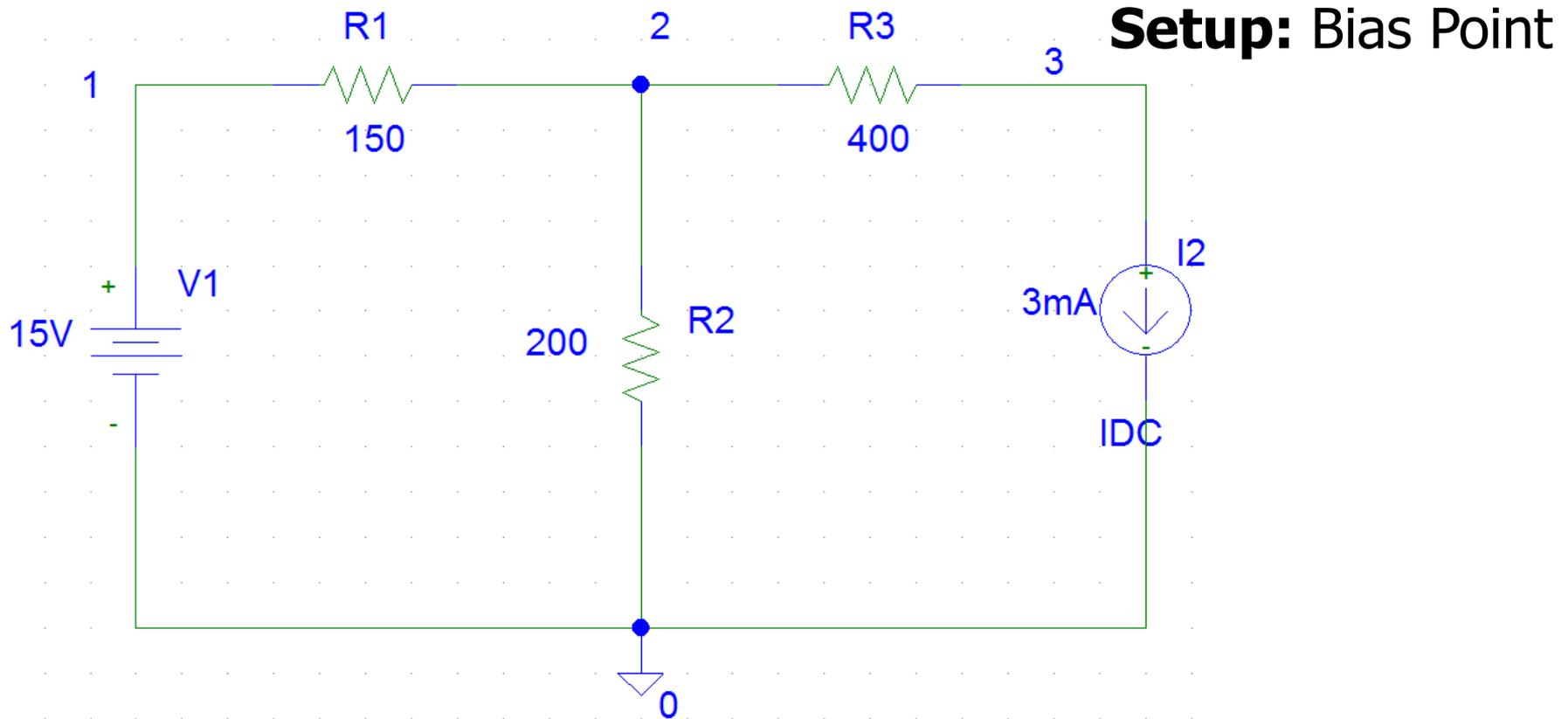
sovrapposizione degli effetti



Setup: Bias Point

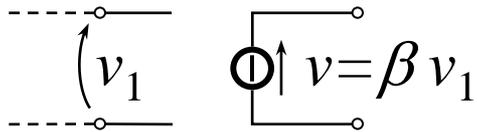
□ **Verificare** il principio di sovrapposizione degli effetti: dimostrare che la tensione ai capi del resistore è data dalla somma della tensioni che si avrebbero ai suoi capi se i 2 generatori agissero singolarmente. Verificare i risultati sulla finestra grafica.

sovrapposizione degli effetti

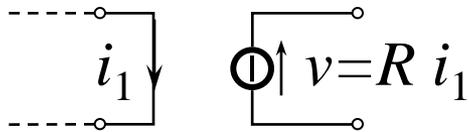


□ seguendo la stessa logica dell'esercizio precedente **Verificare** il principio di sovrapposizione degli effetti per le correnti che attraversano i tre resistori.

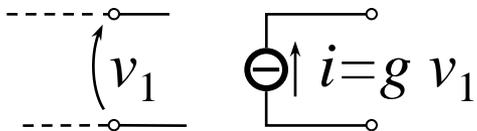
GENERATORI PILOTATI



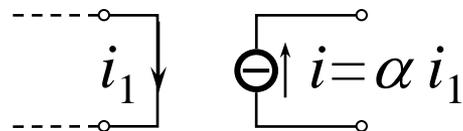
β : parametro di controllo a-dimensionale



R : parametro di controllo
dimensionalmente è una resistenza

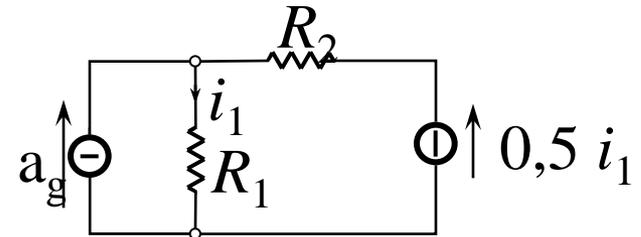


g : parametro di controllo
dimensionalmente è una conduttanza



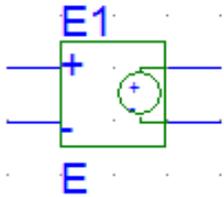
α : parametro di controllo a-dimensionale

esempio:

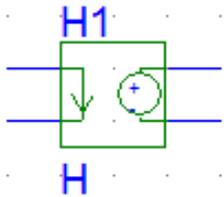


I generatori *dipendenti* o pilotati sono componenti essenziali nei circuiti amplificatori, in cui l'ampiezza dell'uscita è maggiore di quella dell'ingresso. Inoltre servono ad **isolare** una porzione di circuito o a fornire una **resistenza negativa**

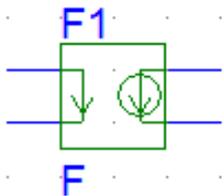
GENERATORI PILOTATI: simboli



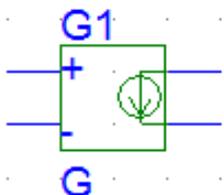
Generatore di tensione pilotato in tensione



Generatore di tensione pilotato in corrente

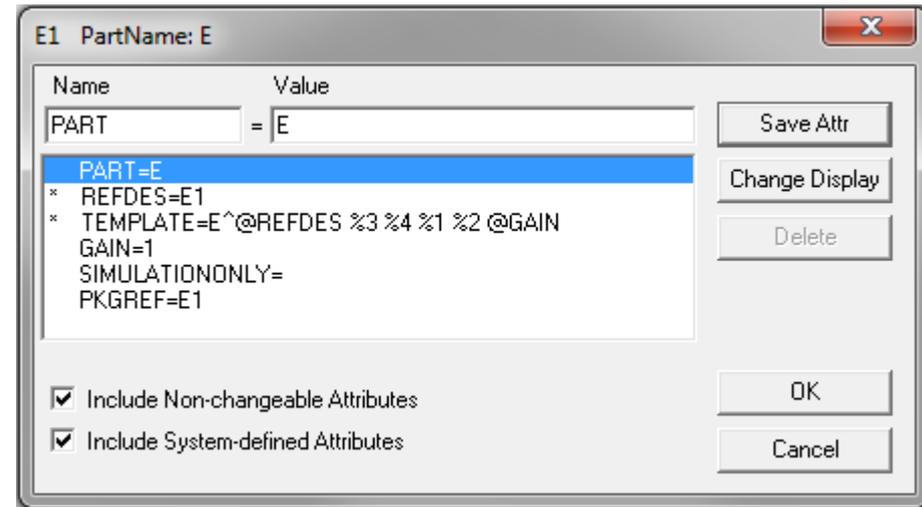


Generatore di corrente pilotato in corrente



Generatore di corrente pilotato in tensione

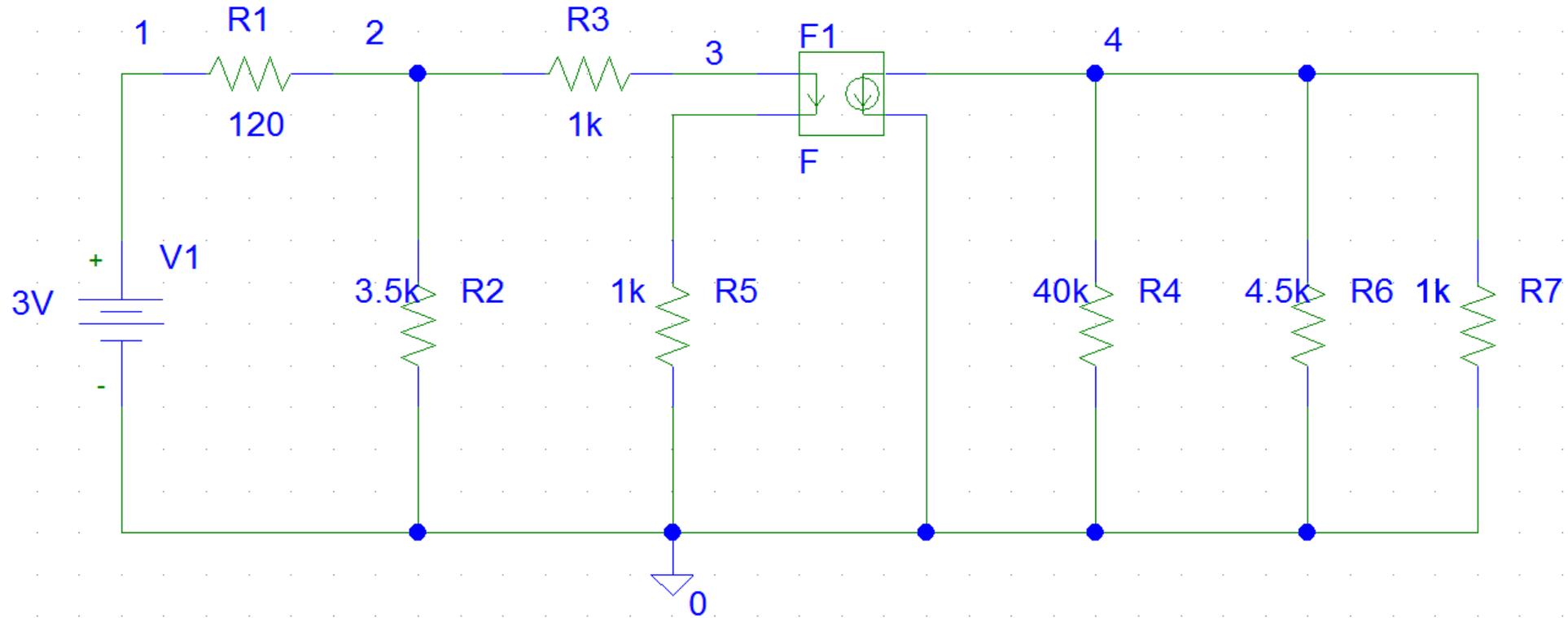
Per settare il guadagno:
doppio click sul componente



Impostare il valore alla voce **GAIN**

$$Gain = \frac{\text{variabile controllata}}{\text{variabile di controllo}}$$

GENERATORI PILOTATI

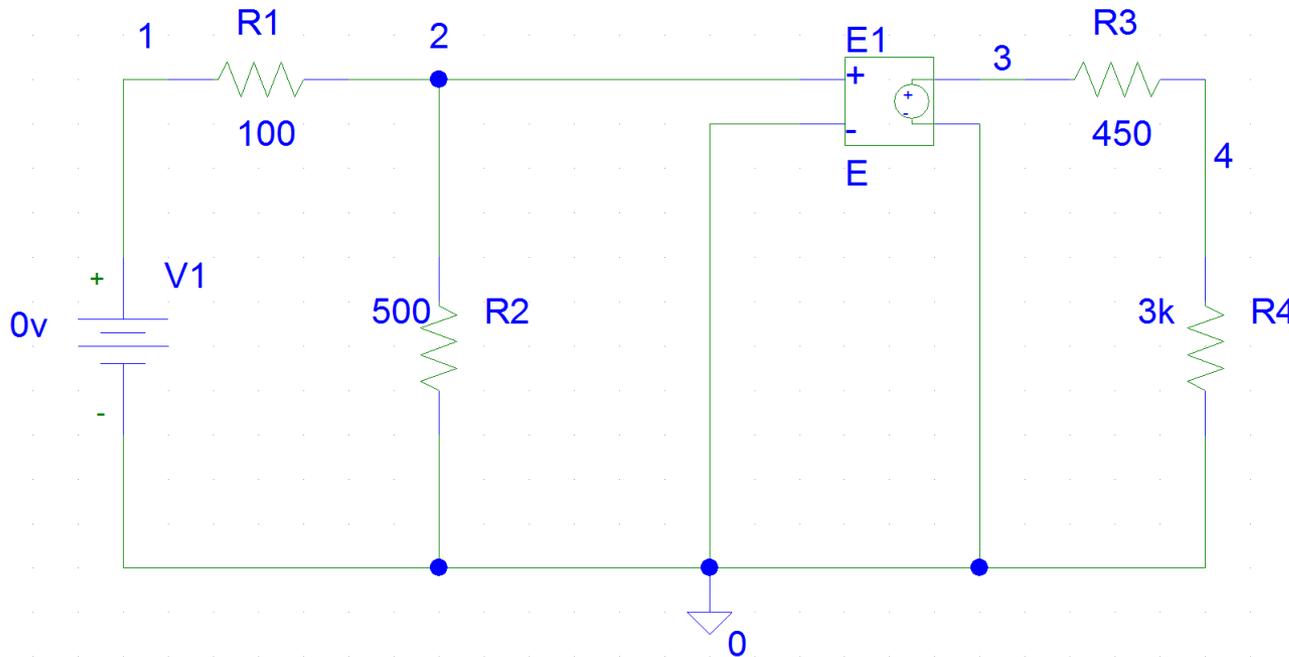


GAIN=100

Setup: Bias Point

- ❑ **Calcolare** le correnti in tutti rami del circuito.
- ❑ **Verificare** sulla finestra grafica che la corrente a valle del generatore pilotato sia 100 volte più grande di quella a monte

GENERATORI PILOTATI



Analisi Parametrica

Setup: DC sweep

Sweep variable: Voltage source

Start value: 0V

End value: 20mv

Increment: 1mv

GAIN=100

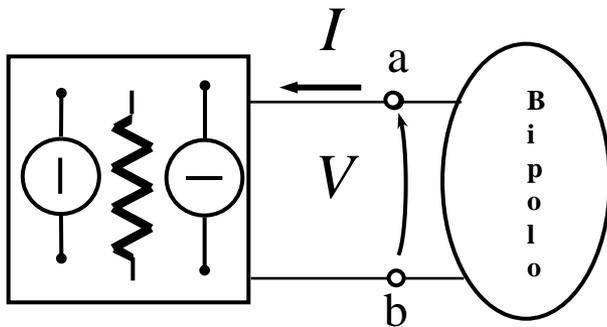
Verificare graficamente la conservazione della potenza:

- a monte del generatore pilotato
- a valle del generatore pilotato

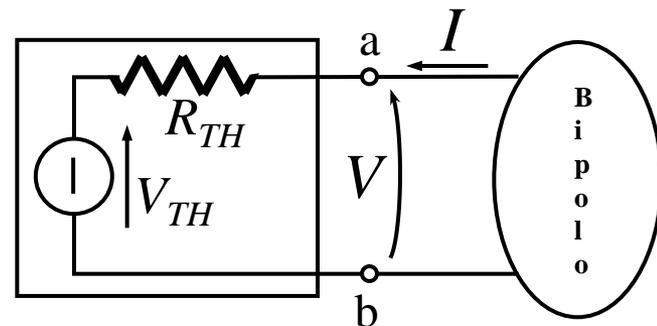
Teorema di Thévenin

Una rete lineare, comunque complessa, accessibile da 2 terminali, può essere sostituita con un circuito equivalente formato da un generatore di tensione V_{TH} in serie con una resistenza R_{TH} , dove V_{TH} è la tensione a vuoto ai terminali e R_{TH} è la resistenza equivalente vista agli stessi morsetti quando i generatori indipendenti sono passivati.

Rete lineare



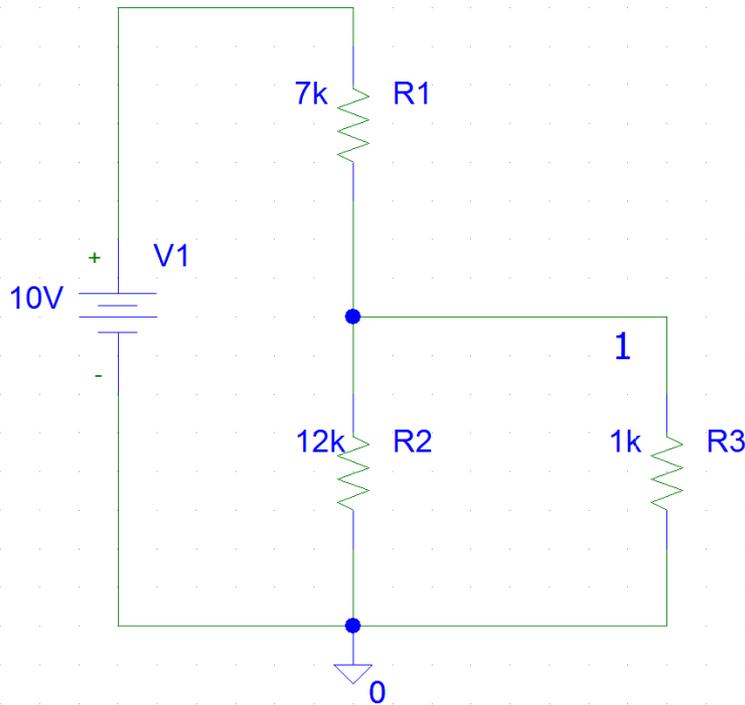
Equivalente di Thévenin



$$V = V_{TH} + R_{TH} I$$

Teorema di Thévenin

Setup: Bias Point



Su schematics:

V_{TH} : per simulare il circuito aperto tra i nodi 1 e 0 si può sostituire la resistenza R_3 una resistenza di valore molto elevato (per esempio $1\text{ G}\Omega$).

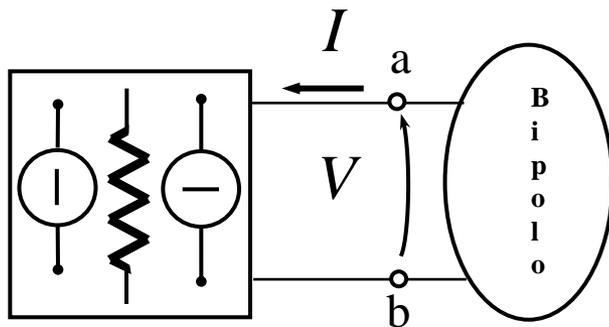
R_{TH} : passivare i generatori indipendenti, collegare tra nodi 1 e 0 un generatore indipendente di corrente da 1 A e leggere il valore di tensione ai suoi capi, $R_{TH}=V_{10}$

- ❑ **Calcolare** la corrente che scorre nella resistenza R_3 usando il circuito equivalente di Thévenin a sinistra dei morsetti 1 e 0
- ❑ **Verificare** i valori di V_{TH} e R_{TH} usando il simulatore
- ❑ **Verificare** il valore della corrente che scorre nella resistenza R_3 simulando il circuito con l'equivalente di Thévenin a sinistra dei morsetti 1 e 0.

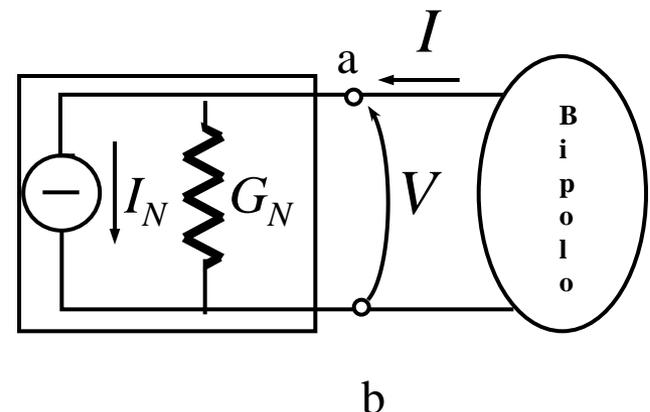
Teorema di Norton

Una rete lineare, comunque complessa, accessibile da 2 terminali, può essere sostituita con un circuito equivalente formato da un generatore di corrente I_N in parallelo con una conduttanza G_N ($1/R_N$), dove I_N è la corrente di corto circuito ai terminali e G_N è la conduttanza equivalente vista agli stessi morsetti quando i generatori indipendenti sono passivati.

Rete lineare



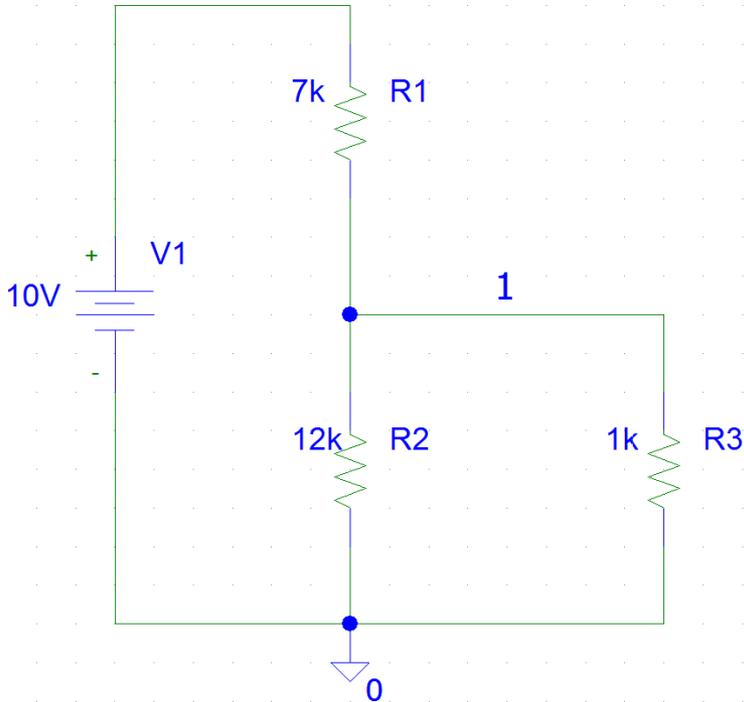
equivalente di Norton



$$I = I_N + G_N \cdot V$$

Teorema di Norton

Setup: Bias Point



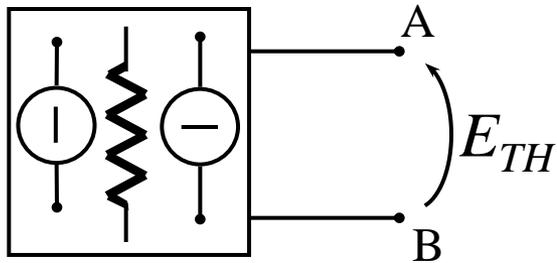
Su schematics:

I_{cc} : per simulare un corto circuito tra i morsetti 1 e 0 si può sostituire la resistenza R_3 una resistenza di valore molto piccolo (per esempio $1 \text{ p}\Omega$) o un tratto di conduttore ideale.

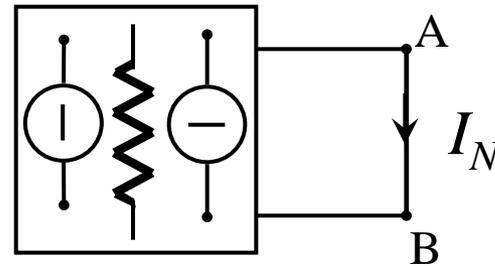
G_N : passivare i generatori indipendenti, collegare tra nodi 1 e 0 un generatore indipendente di corrente da 1 A e leggere il valore di tensione ai suoi capi: $G_N = 1/V_{10}$

- ❑ **Calcolare** la corrente che scorre nella resistenza R_3 usando il circuito equivalente di Norton a sinistra dei morsetti 1 e 0
- ❑ **Verificare** i valori di I_N e G_N usando il simulatore
- ❑ **Verificare** il valore della corrente che scorre nella resistenza R_3 simulando il circuito con equivalente di Norton a sinistra dei morsetti 1 e 0.

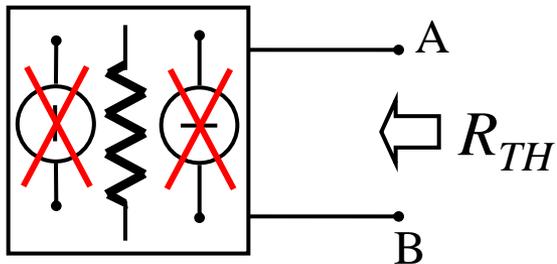
Thevenin & Norton



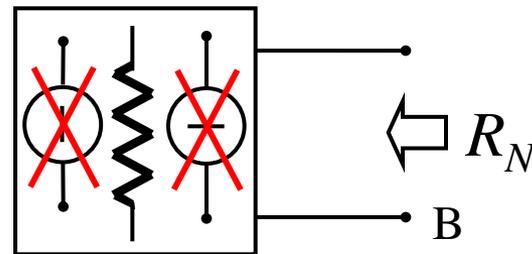
$V_{TH} = \text{tensione a vuoto}$



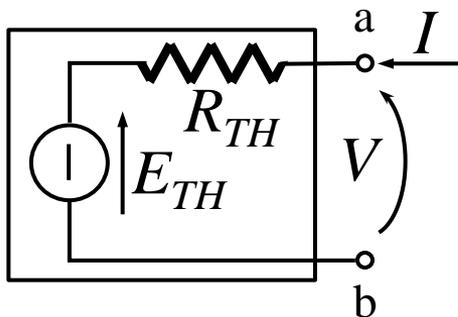
$I_N = \text{corrente in c.to c.to}$



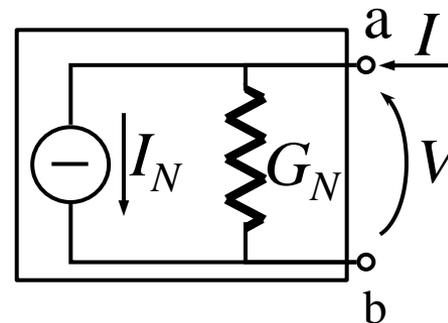
$R_{TH} = \text{resistenza circuito passivato}$



$G_N = \text{conduttanza circuito passivato}$

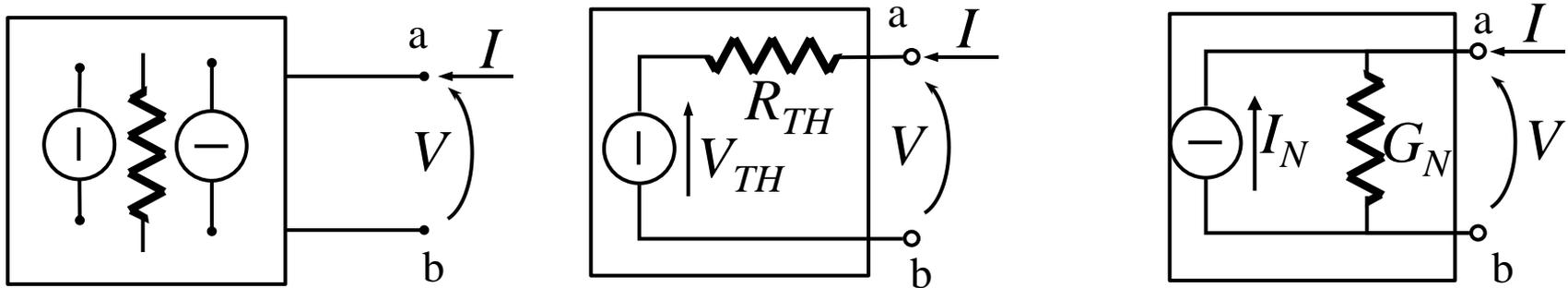


$$V = E_{TH} + R_{TH} I$$



$$I = I_N + G_N \cdot V$$

Trasformazione della sorgente



$$R_{TH} = \frac{1}{G_N}$$

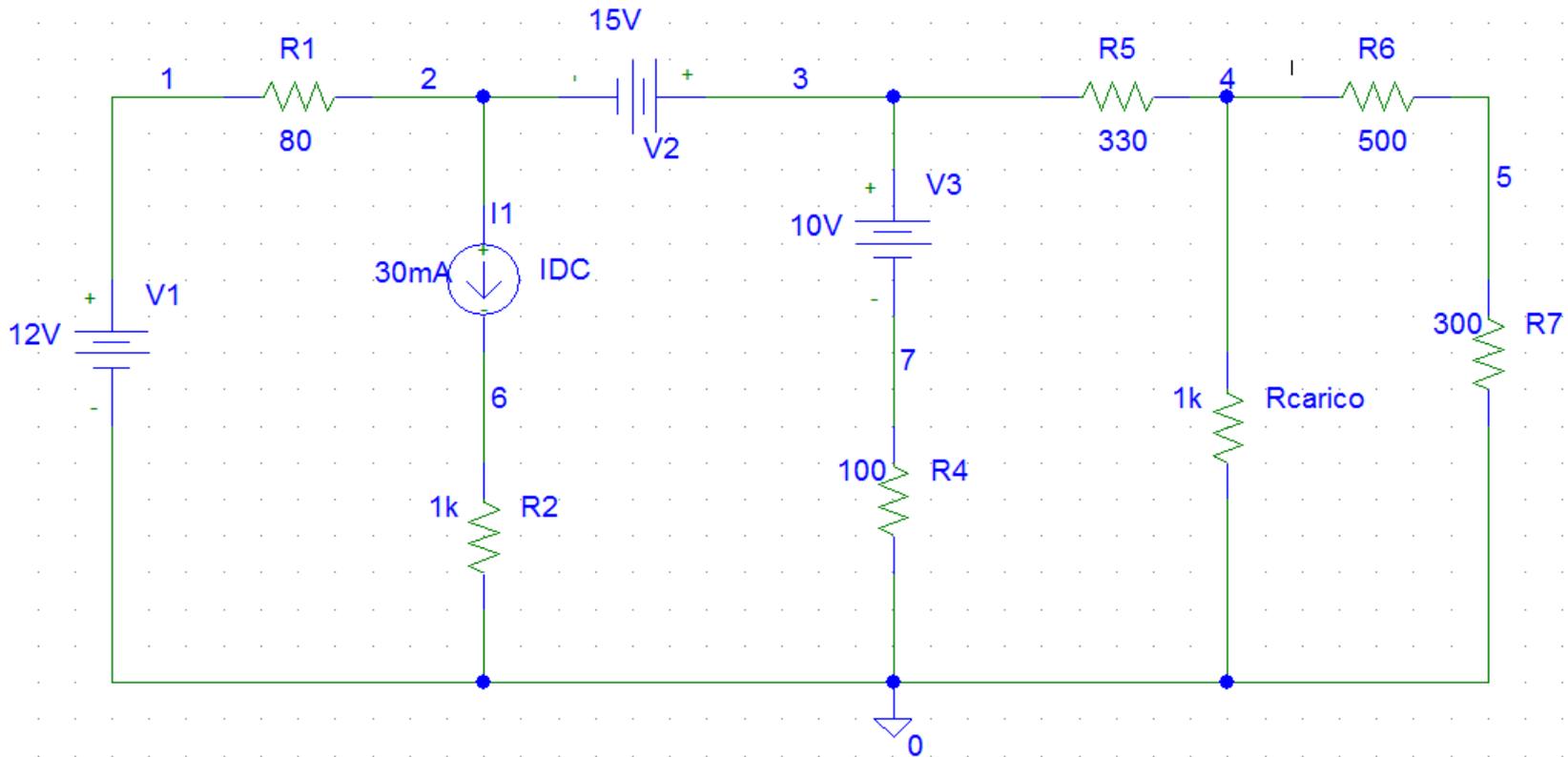
Un circuito in forma equivalente di Thévenin può generalmente essere sostituito da un circuito nella forma equivalente di Norton con un generatore di corrente I_N :

$$I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}}$$

Un circuito in forma equivalente di Norton può generalmente essere sostituito da un circuito nella forma equivalente di Thévenin con un generatore di tensione V_{TH} :

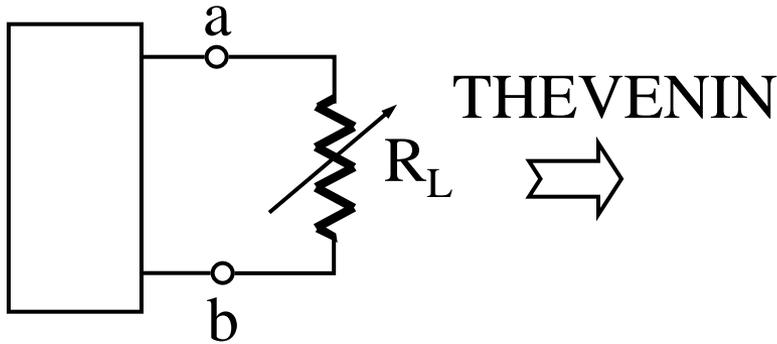
$$V_{TH} = \frac{1}{G_N} \cdot I_N$$

Teoremi di Thévenin e Norton

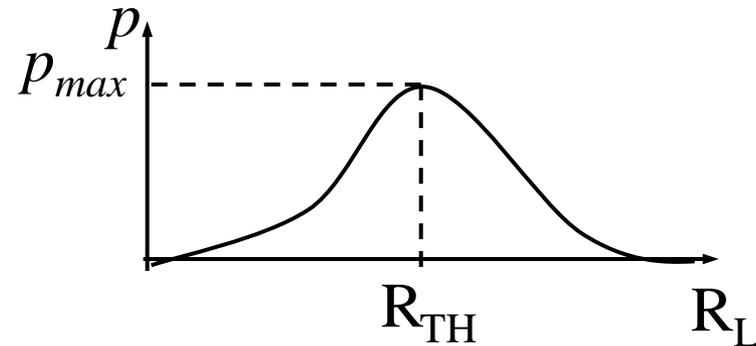


- ❑ **Usando il simulatore** determinare il circuito equivalente di Thévenin rispetto alla resistenza R_{carico}
- ❑ A partire da circuito di Thévenin determinare l'equivalente di Northon.

TEOREMA DEL MASSIMO TRASFERIMENTO DI POTENZA



$$p = R_L i^2 = R_L \cdot \left(\frac{E_{TH}}{R_{TH} + R_L} \right)^2$$



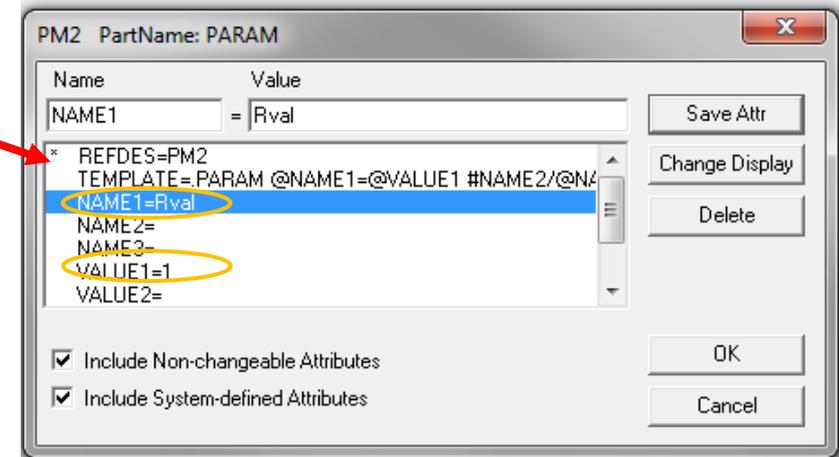
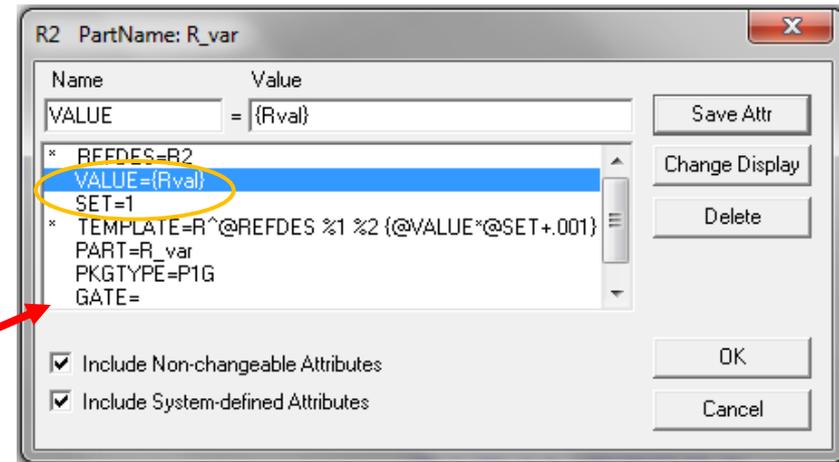
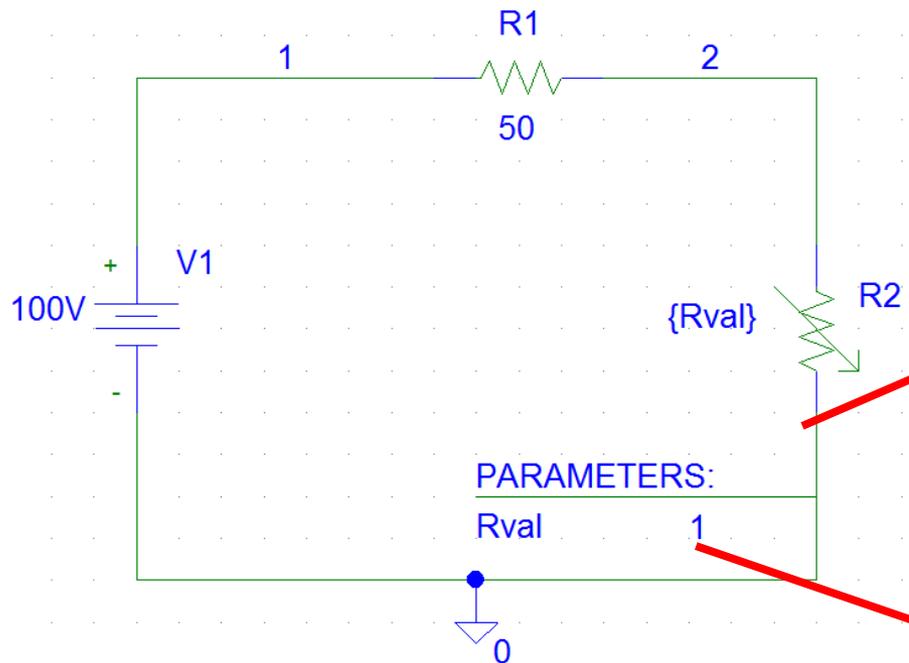
Dimostrazione:

$$\frac{dp}{dR_L} = V_{TH}^2 \left[\frac{(R_{TH} + R_L)^2 - 2R_L(R_{TH} + R_L)}{(R_{TH} + R_L)^4} \right] = 0$$

SI HA LA MASSIMA POTENZA TRASFERITA AL CARICO $R_L = R_{TH}$

LA MASSIMA POTENZA TRASFERITA AL CARICO: $p_{max} = \frac{V_{TH}^2}{4R_{TH}}$

TEOREMA DEL MASSIMO TRASFERIMENTO DI POTENZA



- ❑ Calcolare il valore di R_2 che rende massima la potenza ad essa trasferita
- ❑ Verificare graficamente il risultato ottenuto

TEOREMA DEL MASSIMO TRASFERIMENTO DI POTENZA

Analysis setup:

1. Transient...

- ✓ Print step: 0.5s
- ✓ Final Time: 10s

2. Parametric...

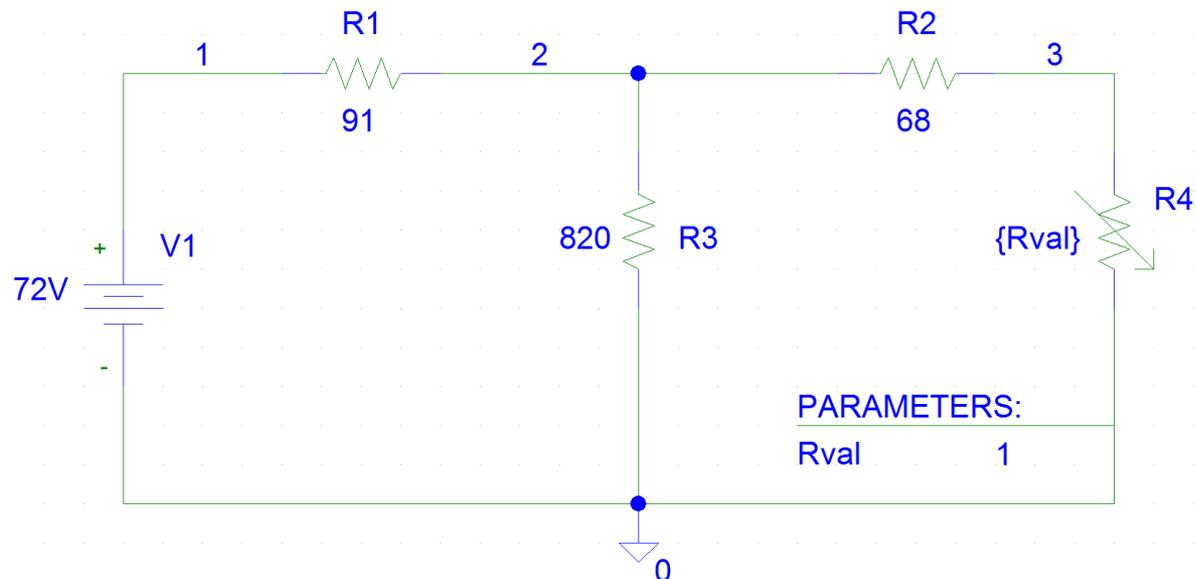
- ✓ **Swept Variable Type:** Global Parameter
- ✓ **Name:** Rval varia tra 1Ω e $1k\Omega$, con passo 10Ω .
- ✓ **Sweep Type:** Linear

Visualizzazione grafica

Dal menù **Trace**

- I. Performance Analysis** (per l'attivazione è sufficiente dare l'OK)
- II. Add Trace:** $\max(P_{R2})$

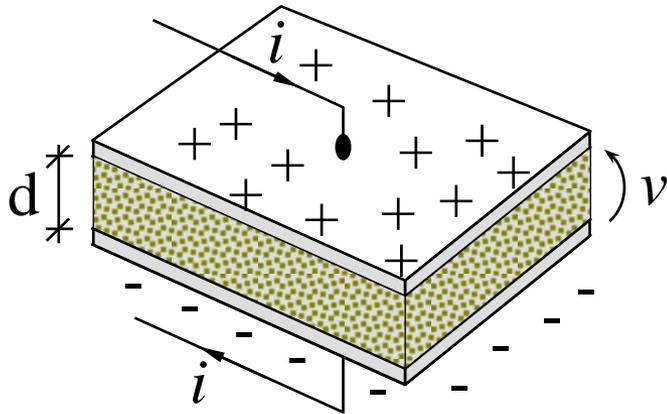
TEOREMA DEL MASSIMO TRASFERIMENTO DI POTENZA



- ❑ **Calcolare** il valore di R_4 che rende massima la potenza ad essa trasferita
- ❑ **Calcolare** la potenza trasferita, il valore della corrente e della tensione sul carico in condizioni di massima potenza
- ❑ **Verificare** graficamente i risultati ottenuti simulando il circuito equivalente di Thévenin a monte della resistenza R_4 .

Componenti dinamici

CAPACITORE



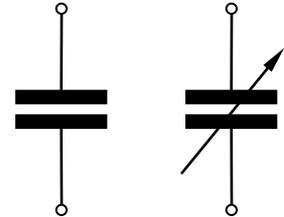
$$q = C \cdot v$$



$$\frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dq}{dt} = i$$

$$i = C \cdot \frac{dv}{dt}$$



MATERIALE	ϵ_r
neoprene	6,46
silicone	3,20
mica	5,40 - 9,0
carta	2,99
acqua distillata	78,20
aria	1

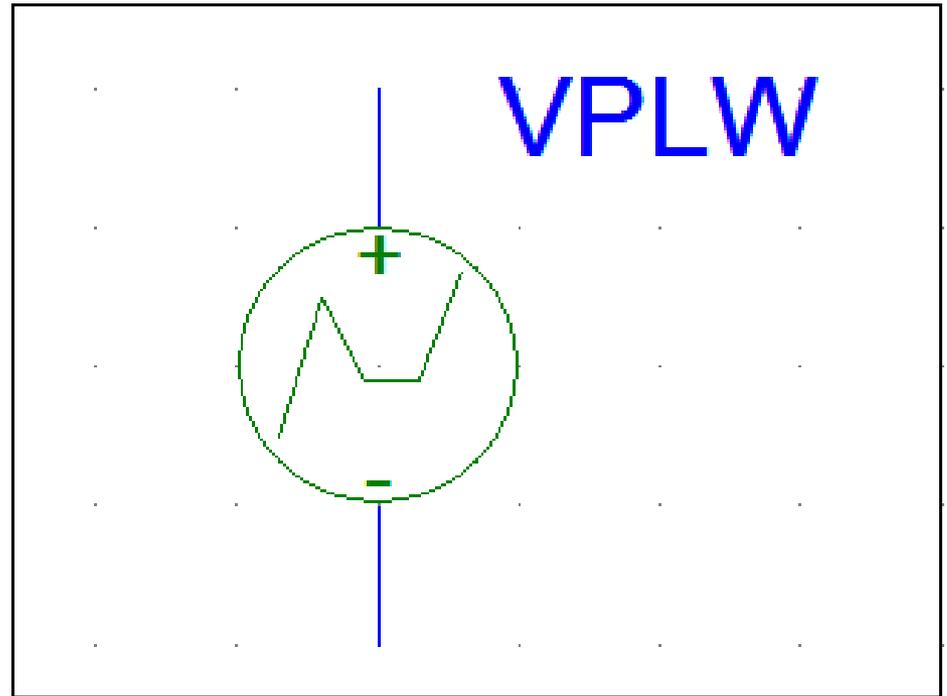
$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} = [F] \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Capacitore passivo $C > 0$

Trasferisce l'energia in modo reversibile

Generatori Tempo-varianti : Forma d'onda lineare a tratti

VPWL	
T_k	V_k
t_1	V_1
t_2	V_2
t_3	V_3
⋮	⋮
t_{10}	V_{10}

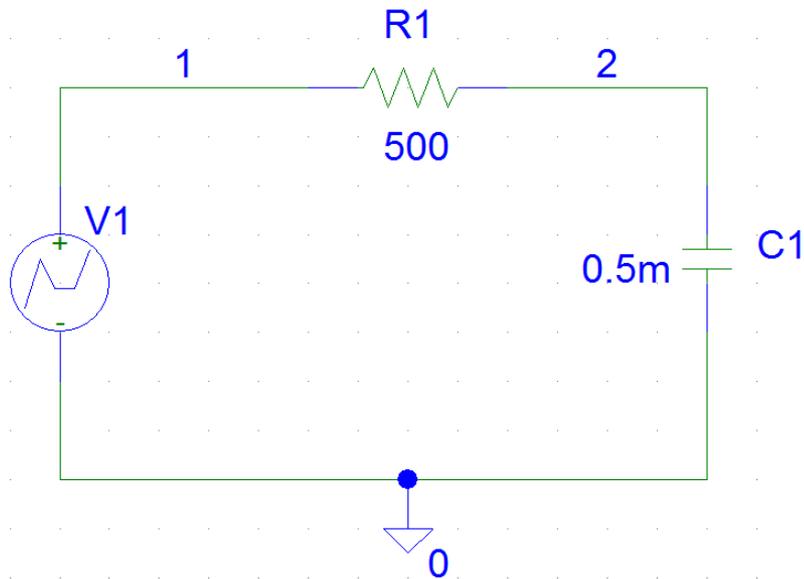


NOTA:

La tensione non può essere discontinua!!!!

La tensione a gradino va generata sostituendo alla discontinuità una pendenza molto elevata.

Componenti dinamici



Generatore VPWL

T1=0s, **V1**=0V;

T2=1 μ s, **V2**=5V;

T3=1s-1 μ s, **V3**=5V

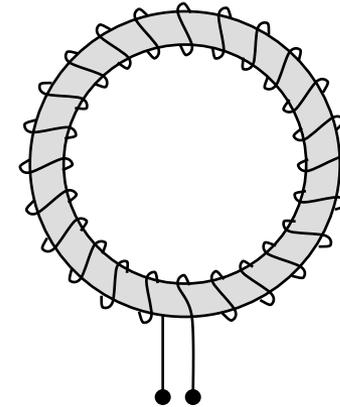
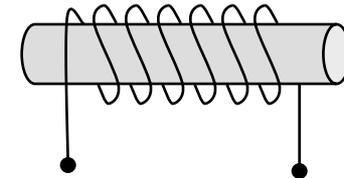
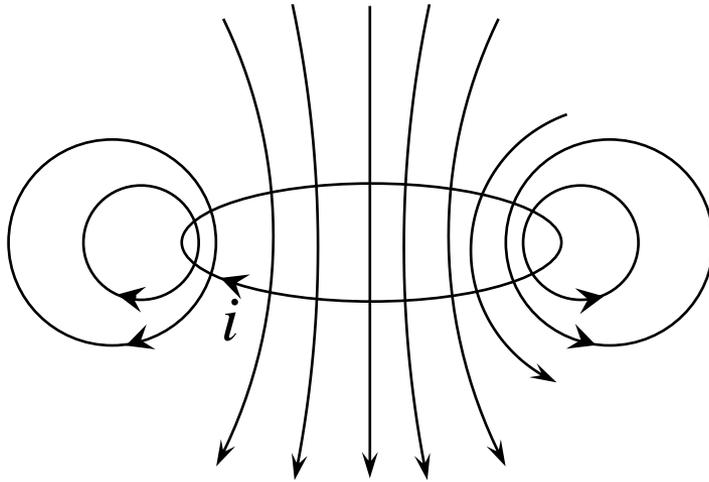
T4=1s+1 μ s **V4**=0V.

Analysis setup: Transient

Visualizzare 6 s

- visualizzare l'andamento della tensione ai nodi 1 e 2 e la corrente che circola nel circuito

INDUTTORE



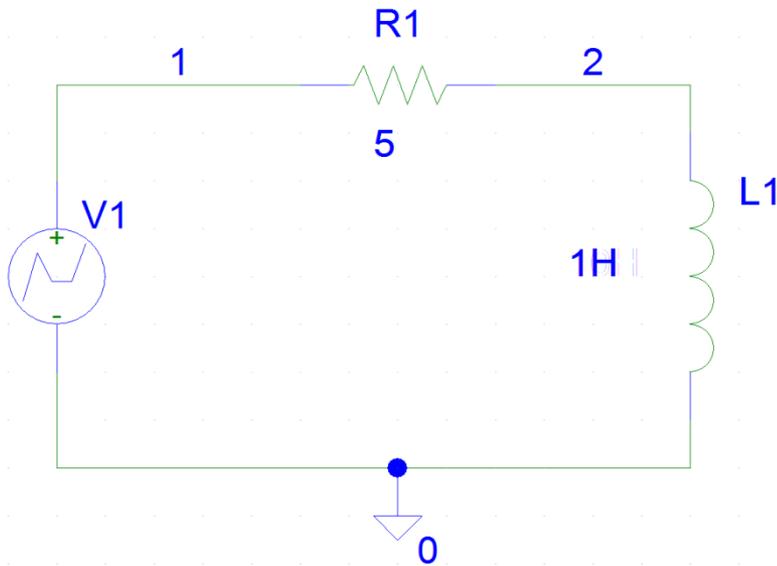
$$\phi = L \cdot i \quad v_{ind} = \frac{d\phi}{dt} \quad v_{ind} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$L = \left[\frac{\text{Weber}}{\text{A}} \right] = [\text{H}] = \textit{henry}$$

Induttore passivo $L > 0$

Trasferisce l'energia in modo reversibile

Componenti dinamici



Generatore VPWL

T1=0s, V1=0V;

T2=1 μ s, V2=5V;

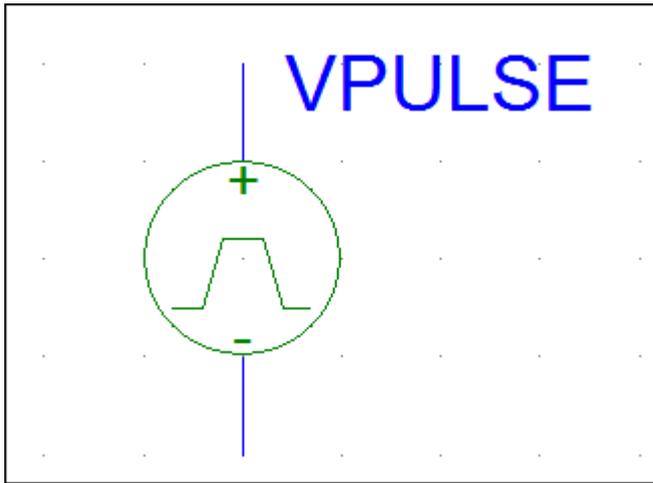
T3=1s, V3=5V

T4=1s+1 μ s V4=0V.

Analysis setup: Transient
Visualizzare 6 s

- Visualizzare l'andamento della tensione ai nodi 1 e 2 e la corrente che circola nel circuito

Generatori Tempo-varianti: Forma d'onda rettangolare periodica



VPULSE:

V1= Tensione minima

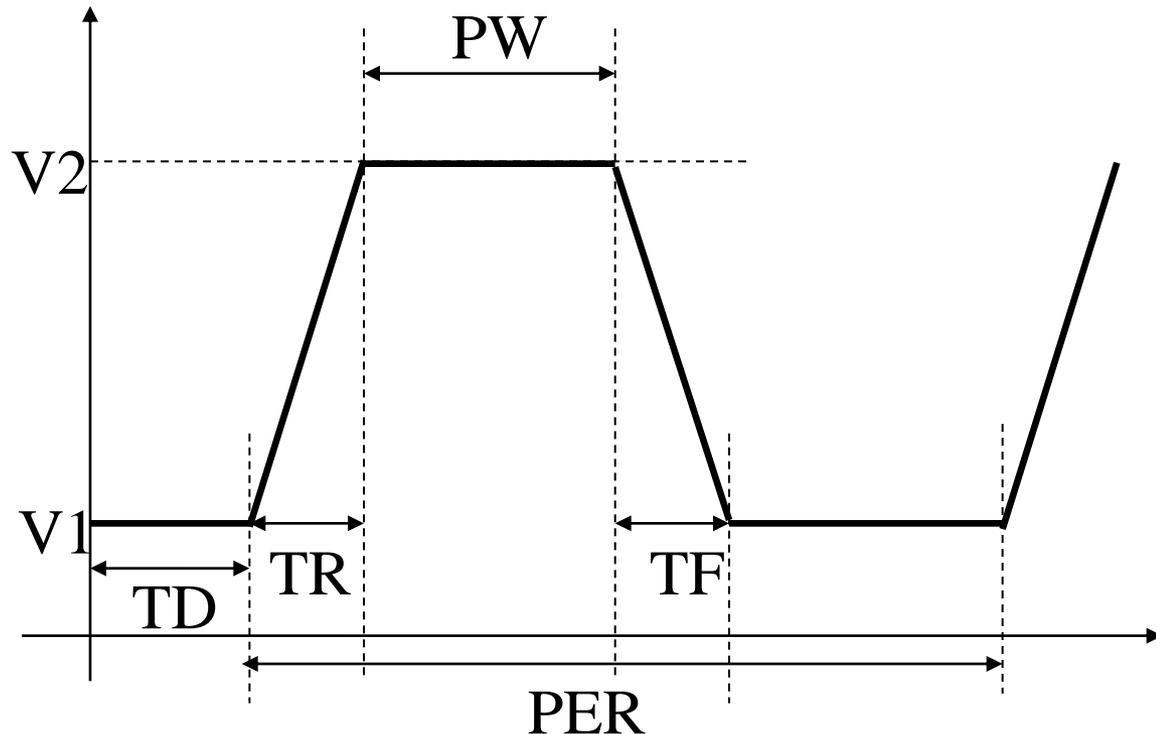
V2= Tensione massima

TD=Ritardo

TR=Tempo di salita

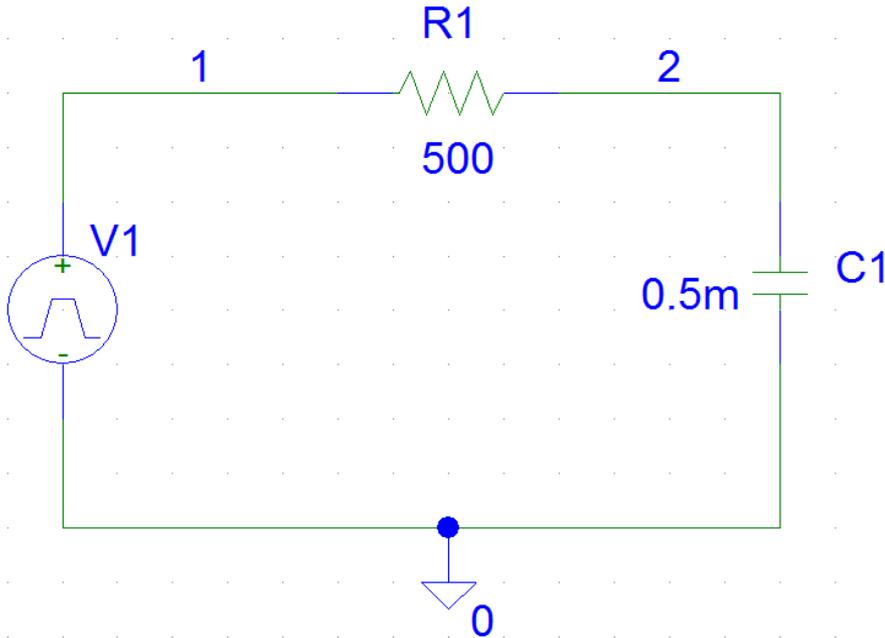
TF=Tempo di discesa

PW=Durata dell'impulso



PER=durata del periodo

Componenti dinamici



generatore di tensione **VPULSE**:

V1 (valore minimo)=0;

V2 (valore massimo)=5V;

TD (origine dei tempi)=0s;

TR (tempo di salita)= 1 μ s

TF (tempo di discesa)=1 μ s;

PW (tempo di flat-top)=1s;

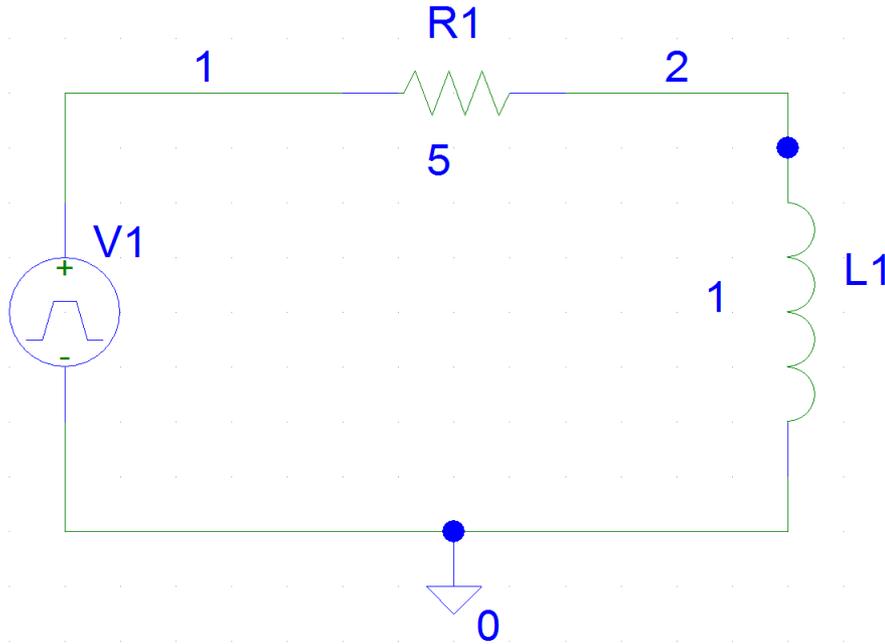
PER (durata del periodo)=2s.

Analysis setup: Transient

Visualizzare per 4 periodi con risoluzione temporale di 1ms:

- l'andamento dei potenziali ai nodi 1 e 2 e la corrente del circuito al variare del valore della capacità, la quale dovrà assumere i valori: 5 μ F, 0.05 mF, 0.5 mF

Componenti dinamici



generatore di tensione **VPULSE**:

V1 (valore minimo)=0;

V2 (valore massimo)=5V;

TD (origine dei tempi)=0s;

TR (tempo di salita)= 1 μ s

TF (tempo di discesa)=1 μ s;

PW (tempo di fat-top)=1s;

PER (durata del periodo)=2s.

Analysis setup: Transient

Visualizzare per 4 periodi con risoluzione temporale di 1ms :

- l'andamento dei potenziali ai nodi 1 e 2 e la corrente del circuito al variare del valore dell'induttanza, la quale dovrà assumere i valori 1 mH, 1 H, 10 H

Reti in Regime Sinusoidale

Reti in Regime Sinusoidale

Le reti in regime sinusoidale sono delle reti nelle quali le grandezze in gioco variano al variare del tempo con legge sinusoidale.

Le reti elettriche in alta potenza sono alimentate con tensione sinusoidale con frequenza di:

- 50 Hz in Europa
- 60 Hz in USA.

Se una rete lineare è alimentata da un generatore sinusoidale

$$\mathbf{v(t) = V_M \sin(\omega t + \varphi)}$$

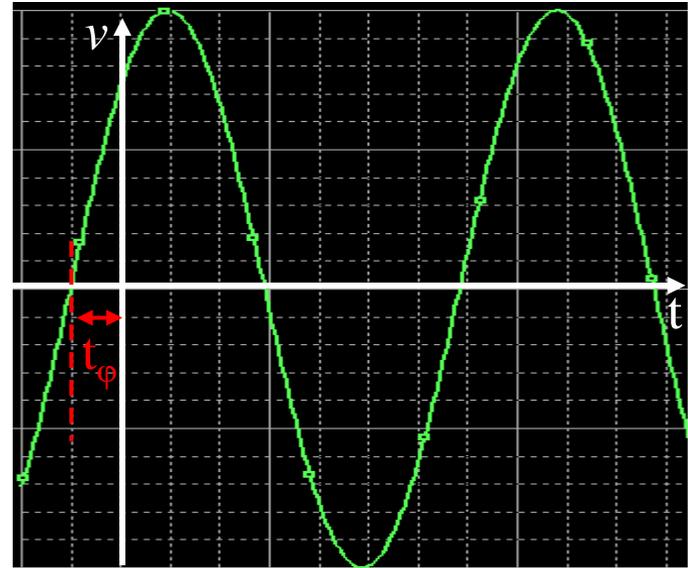
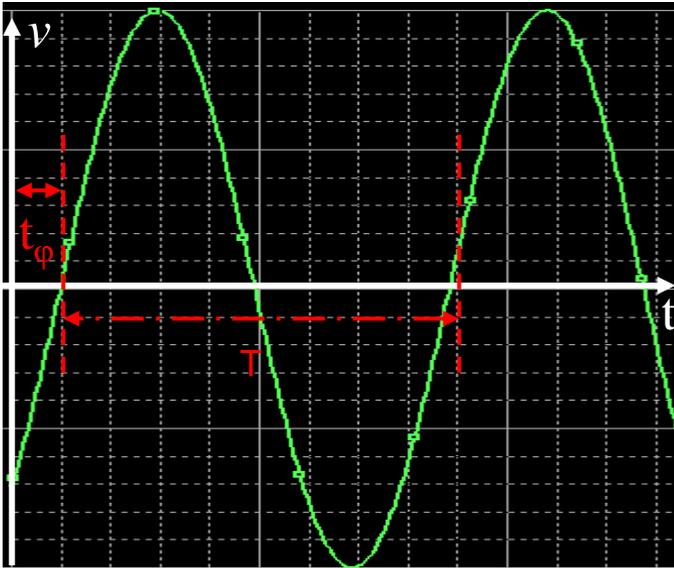
risulteranno sinusoidali tutte le tensioni e tutte le correnti che si stabiliranno nei diversi rami del circuito.

IN UNA RETE ASSOLUTAMENTE STABILE, IL REGIME
SINUSOIDALE VIENE CONSEGUITO DA TUTTE LE
VARIABILI DELLA RETE

Reti in Regime Sinusoidale

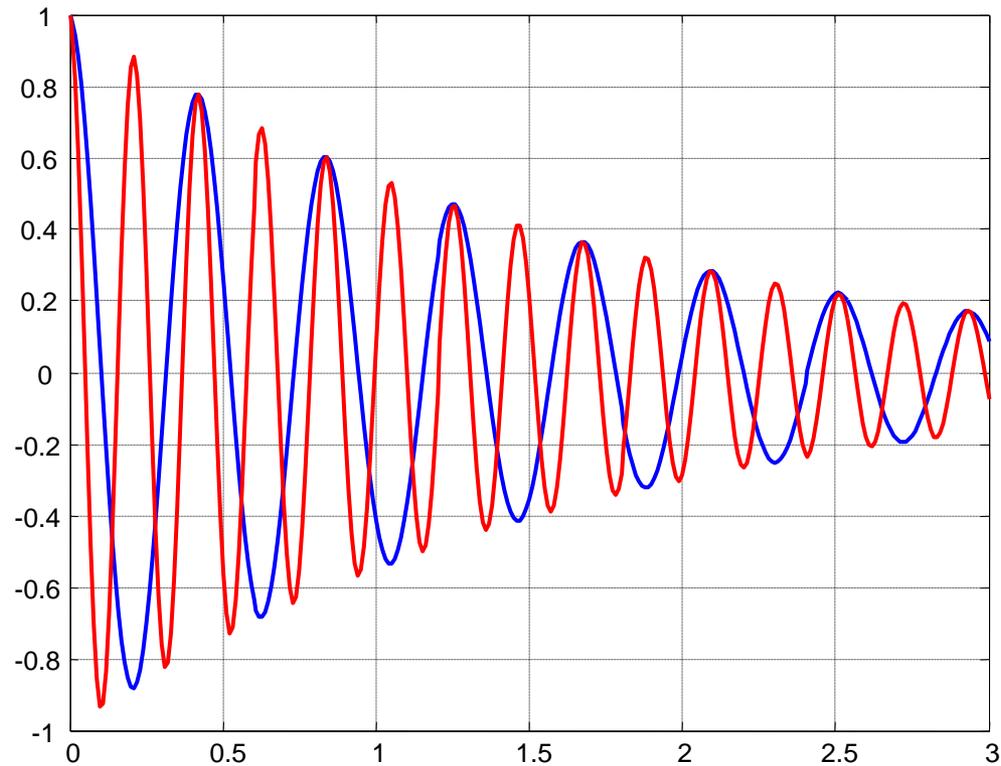
$$v(t) = V_M \sin(\omega t + \varphi)$$

- V_M ampiezza o valore massimo di $v(t)$
- $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{rad}{s} \right]$ pulsazione
- $\varphi [rad]$ fase iniziale a cui corrisponde $t_\varphi = \frac{\varphi}{\omega} \left[\frac{rad}{\frac{rad}{s}} \right] = [s]$

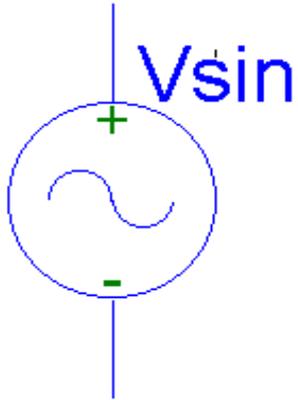


Funzione Cisoidale

Le cisoidi seguono un andamento oscillatorio smorzato; le sinusoidi sono cisoidi con smorzamento nullo.



Generatori Tempo-varianti: Forma d'onda cisoidale



$$v(t) = V_{\text{off}} + V_m e^{-\alpha(t-t_d)} \text{sen}(2\pi f(t-t_d) + \varphi)$$

V_{off} = tensione di offset V_{OFF}

V_m = ampiezza V_{AMPL}

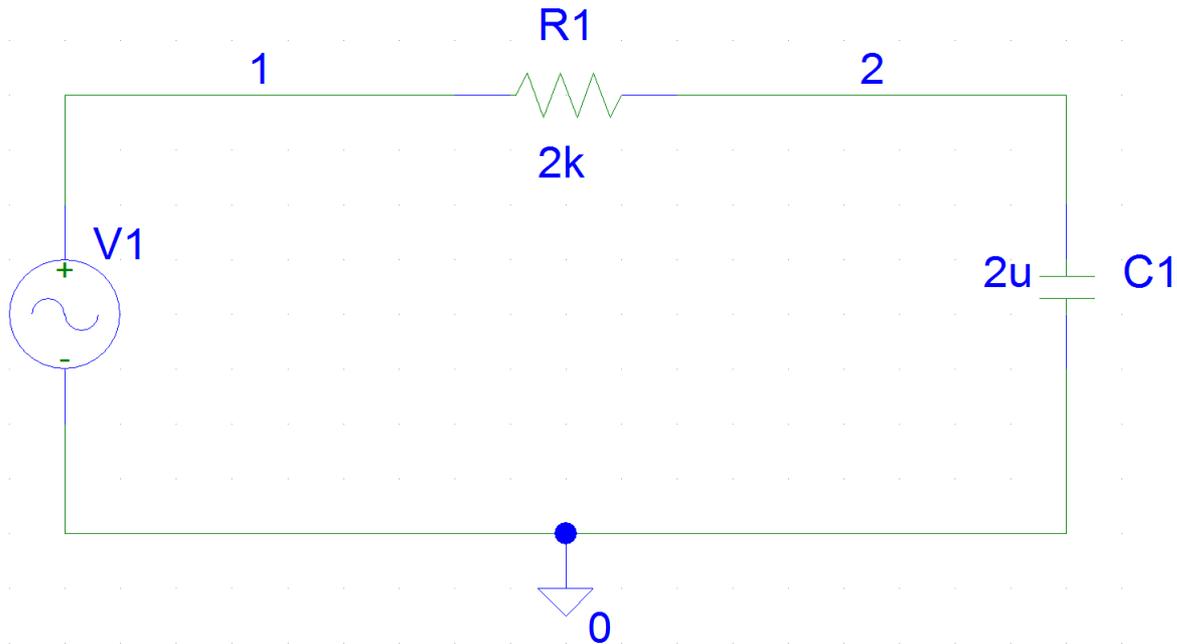
T_d = ritardo (time delay) T_D

α = fattore di smorzamento (damping factor) DF

Φ = fase della sinusoide $PHASE$

$FREQ$ = frequenza f

Regime sinusoidale



$$v(t) = 20 \sin(4 \cdot 10^3 t)$$

Setup: transient

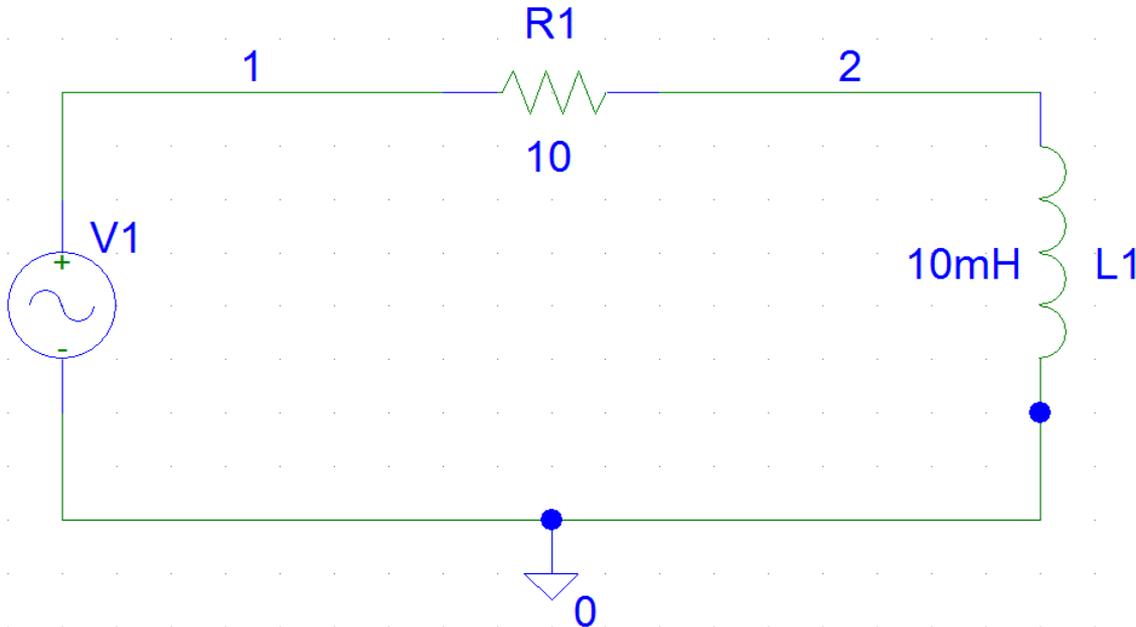
Print spet: 0s

Final Time: 15mS

Step Ceiling 0.01ms

- ❑ **Visualizzare** la corrente che circola nel circuito e la cadute di tensione ai capi del resistore e del capacitore
- ❑ **Calcolare** gli sfasamenti tra la corrente del circuito e le due cadute di tensione sopra citate.

Regime sinusoidale



$$v(t) = 20 \sin(4 \cdot 10^3 t)$$

Setup: transient

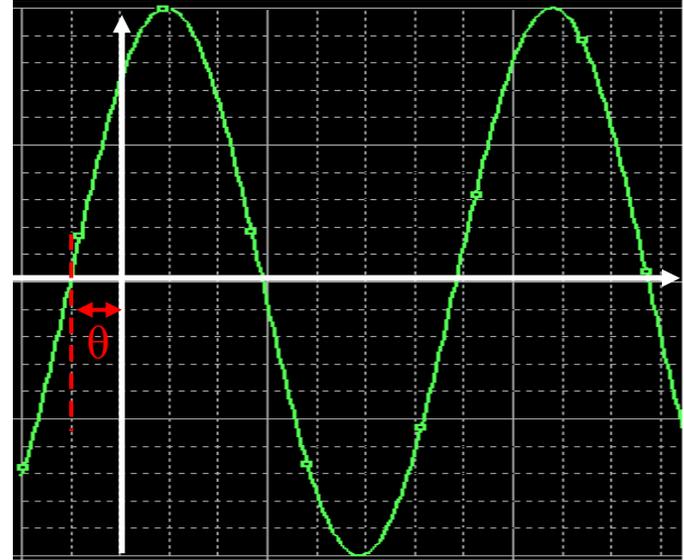
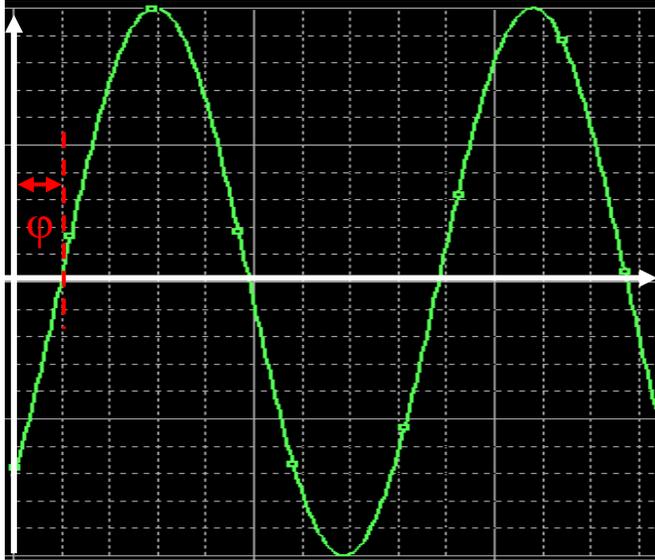
Print spet: 0s

Final Time: 15mS

Step Ceiling 0.01ms

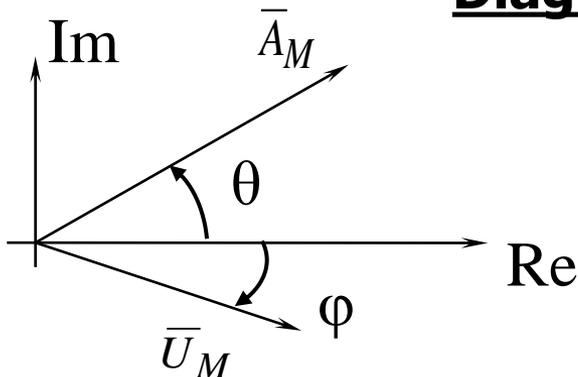
- ❑ **Visualizzare** la corrente che circola nel circuito e la c.d.t. ai capi del resistore e dell'induttore
- ❑ **Calcolare** gli sfasamenti tra la corrente del circuito le due c.d.t sopra indicate

FASORI



Una funzione sinusoidale può essere espressa in maniera compatta con un fasore. Il **fasore** è un vettore con il quale si rappresenta l'ampiezza e la fase di una sinusoide, come tutti i vettori può essere rappresentato su un piano cartesiano.

Diagramma fasoriale nel dominio della frequenza



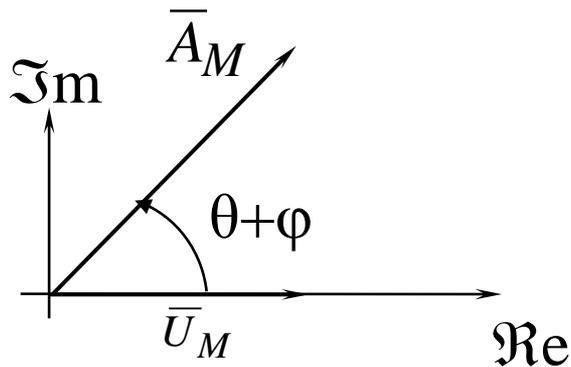
\bar{U}, \bar{A} sono due fasori

ANTICIPO $\theta \rightarrow$ ANGOLO POSITIVO

RITARDO $\phi \rightarrow$ ANGOLO NEGATIVO

(convenzionalmente)

FASORI

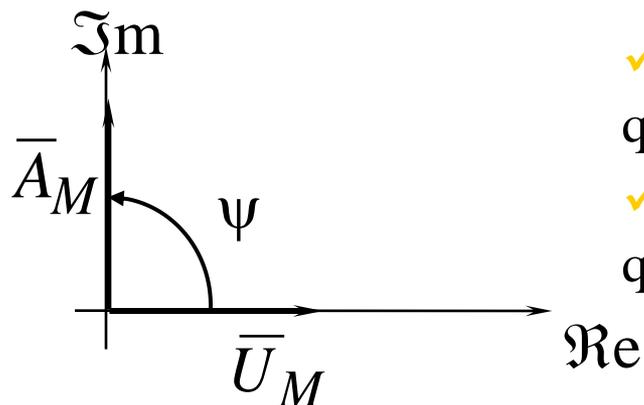


prendiamo \bar{U}_M come riferimento

\bar{A}_M è in anticipo rispetto a \bar{U}_M

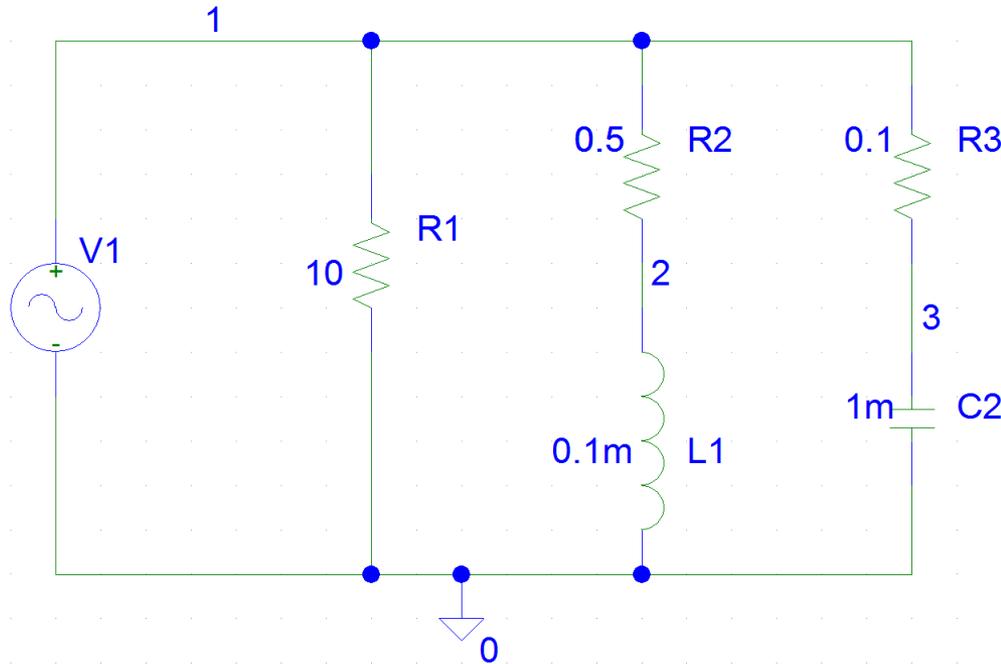
CASI PARTICOLARI:

- a) $\psi = \varphi - \theta = \pi/2$ i fasori sono in quadratura
- b) $\psi = \pi$ i fasori sono in opposizione di fase
- c) $\psi = 0$ i fasori sono in fase



- ✓ se prendiamo \bar{U}_M come riferimento \bar{A}_M è in quadratura in anticipo rispetto a \bar{U}_M
- ✓ Se prendiamo \bar{A}_M come riferimento \bar{U}_M è in quadratura in ritardo rispetto ad \bar{A}_M

Regime sinusoidale



$$v(t) = 20 \sin(4 \cdot 10^3 t)$$

Setup: transient

Print spet: 0s

Final Time: 15mS

Step Ceiling 0.01ms

- ❑ **Visualizzare** la tensione V_1 del generatore sinusoidale e le correnti nei tre rami collegati in parallelo al generatore
- ❑ **Calcolare** gli sfasamenti tra la tensione V_1 e ognuna delle correnti nei tre rami.

FASORI

$$u(t) = U_M \cdot \sin(\omega t)$$

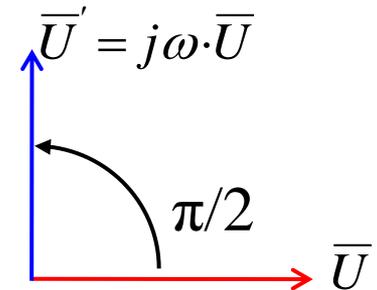
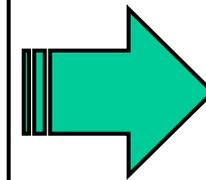
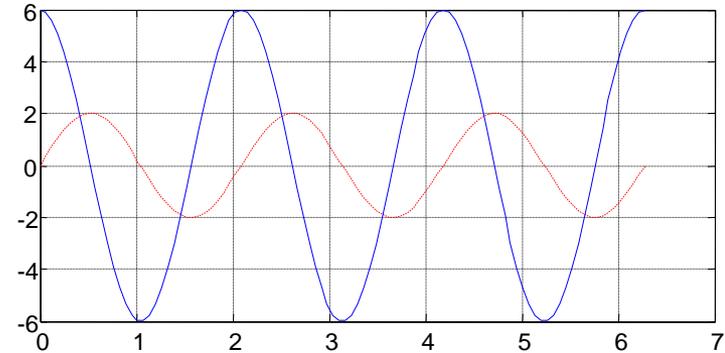
$$u'(t) = \frac{du(t)}{dt} = \frac{d[U_M \cdot \sin(\omega t)]}{dt} = \omega U_M \cdot \cos \omega t$$

$$\cos \omega t = \text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{se } \varphi_u = 0 \rightarrow \varphi_{u'} = +\frac{\pi}{2}$$

sfasamento di $u'(t)$ rispetto a $u(t) \rightarrow \psi = \varphi_{u'} - \varphi_u = \frac{\pi}{2}$

Prendendo il fasore di $u(t)$ come riferimento:
 $u'(t)$ è in quadratura in anticipo rispetto a $u(t)$



DOMINIO DEL TEMPO

DOMINIO DELLA FREQUENZA

$$u'(t) = \frac{du(t)}{dt} \quad \Leftrightarrow$$

$$\bar{U}' = j\omega \bar{U}$$

$$u'(t) = \int u(t) dt \quad \Leftrightarrow$$

$$\bar{U}' = \frac{\bar{U}}{j\omega}$$

RESISTORE

$$v = R \cdot i \Rightarrow \bar{V} = R \cdot \bar{I}$$

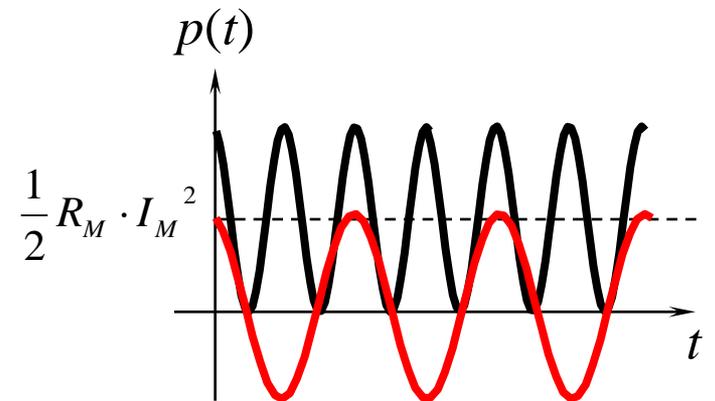
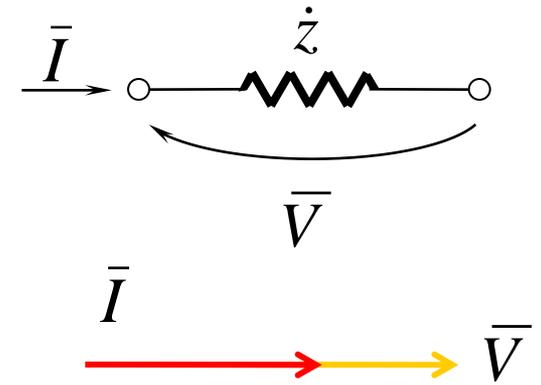
$$i(t) = I_M \cos \omega t$$

$$p(t) = v \cdot i = RI_M^2 \cos^2(\omega t)$$

$$\cos^2(\omega t) = \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2} \Rightarrow p(t) = RI_M^2 \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2}$$

$$p(t) = \frac{RI_M^2}{2} (1 + \cos 2\omega t) = \frac{1}{2} R_M \cdot I_M^2 + \frac{1}{2} R_M \cdot I_M^2 \cos 2\omega t$$

$$p(t) = \frac{1}{2} RI_M^2 (1 + \cos 2\omega t) = \frac{1}{2} \frac{V^2}{R} (1 + \cos 2\omega t)$$

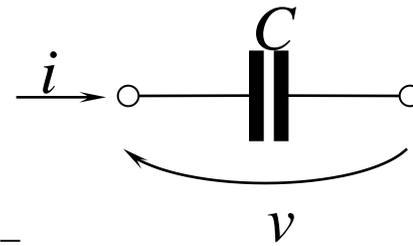


La potenza assorbita dal resistore è sempre positiva o, al più, nulla, è pulsante di pulsazione doppia rispetto a quella della tensione o della corrente

II VALORE MEDIO di $p(t)$ in un periodo viene chiamato POTENZA ATTIVA

$$P = \frac{1}{2} R_M I_M^2 = RI^2 = VI = \frac{V^2}{R}$$

CAPACITORE



$$i = C \frac{dv}{dt} \Rightarrow \bar{I} = j\omega C \cdot \bar{V} \Rightarrow \bar{V} = \frac{1}{j\omega C} \bar{I} = -jX_C \bar{I}$$

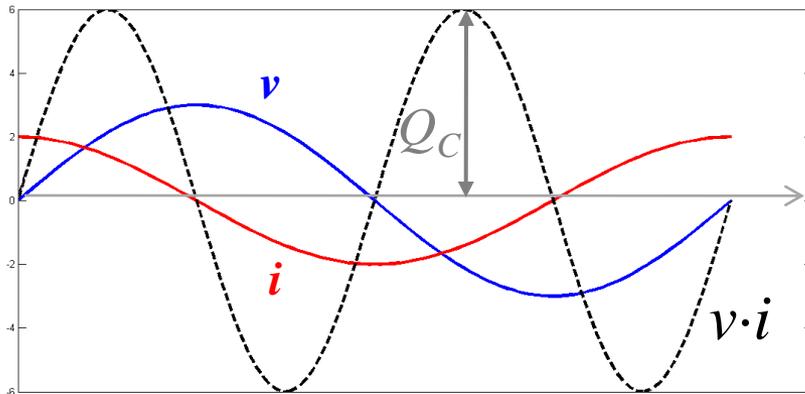
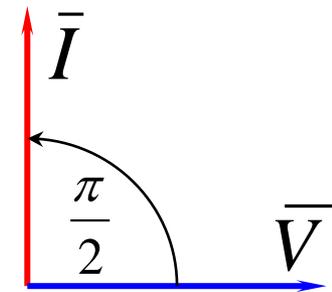
Diagramma fasoriale

$$v(t) = V_M \text{sen} \omega t; \quad i(t) = C \cdot V_M \frac{d \text{sen} \omega t}{dt} = C \omega \cdot V_M \cos(\omega t)$$

$$p(t) = v \cdot i = C \omega \cdot V_M^2 \sin \omega t \cdot \cos \omega t = C \omega \cdot V_M^2 \frac{\sin 2\omega t}{2}$$

$$p(t) = \frac{1}{2} \frac{V_M^2}{X_C} \sin 2\omega t = \frac{1}{2} X_C I_M^2 \sin 2\omega t = \frac{1}{2} V_M I_M \sin 2\omega t$$

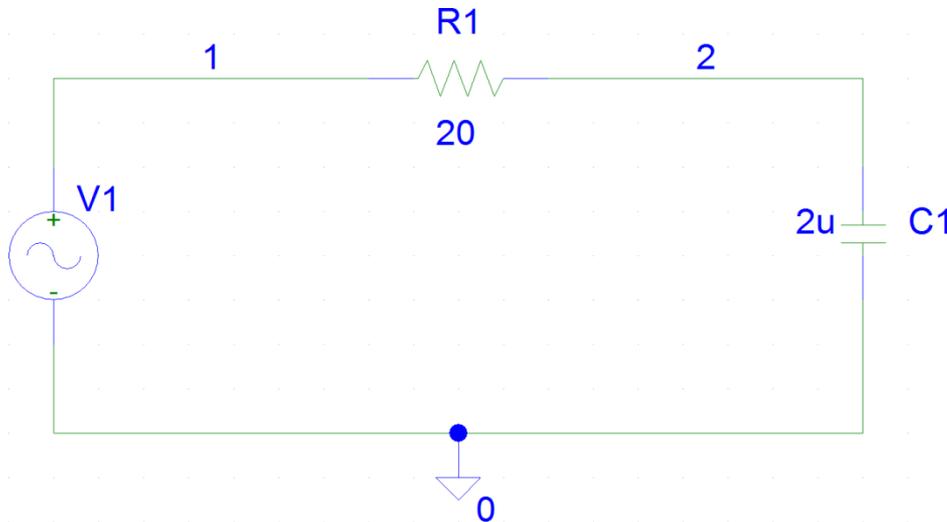
$$Q_c = \frac{1}{2} \frac{V_M^2}{X_C} = \frac{1}{2} X_C I_M^2 = \frac{1}{2} V_M I_M$$



La potenza istantanea è una sinusoide di pulsazione doppia rispetto a quelle di tensione e corrente. La potenza attiva è nulla.

La quantità Q_c è l'**ampiezza massima** dell'oscillazione della potenza istantanea $p(t)$ è detta **Potenza Reattiva Capacitiva**.

Regime sinusoidale: potenze



$$v(t) = 20 \sin(4 \cdot 10^3 t)$$

Setup: transient

Print spet: 0s

Final Time: 20mS

Step Ceiling 0.01ms

- ❑ **Visualizzare** tensione, corrente e potenza istantanea del resistore. **Calcolare** la potenza attiva da esso assorbita e **verificare** il risultato sul grafico.
- ❑ **Visualizzare** tensione, corrente e potenza istantanea del capacitore. **Calcolare** la potenza reattiva messa in gioco e **verificare** il risultato sul grafico.

INDUTTORE

$$v = L \frac{di}{dt} \Rightarrow \bar{V} = j\omega L \cdot \bar{I} = jX_L \bar{I}$$

$$i(t) = I_M \cos \omega t;$$

$$v(t) = L \cdot \frac{d(I_M \cos \omega t)}{dt} = -\omega L I_M \sin \omega t$$

$$p(t) = v \cdot i = -\omega L I_M^2 \cos \omega t \cdot \sin \omega t = -\omega L I_M^2 \cdot \frac{\sin 2\omega t}{2}$$

$$p(t) = -\frac{1}{2} X_L I_M^2 \cdot \sin 2\omega t = -\frac{1}{2} \frac{V_M^2}{X_L} \cdot \sin 2\omega t = -\frac{1}{2} V_M I_M \cdot \sin 2\omega t$$

$$Q_L = \frac{1}{2} X_L I_M^2 = \frac{1}{2} \frac{V_M^2}{X_L} = \frac{1}{2} V_M I_M$$

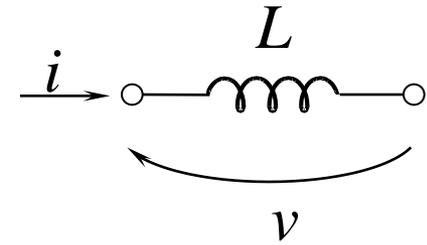
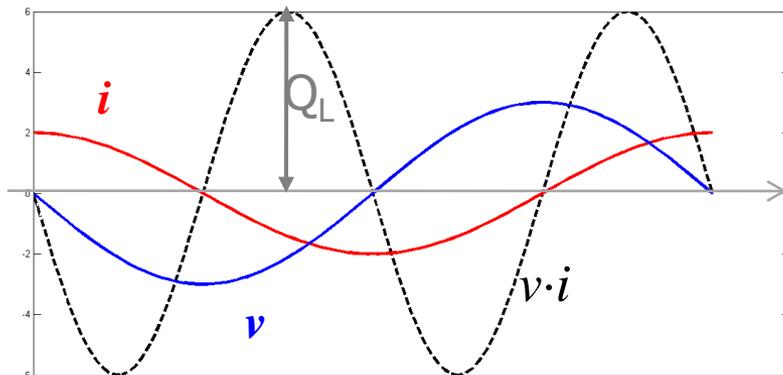
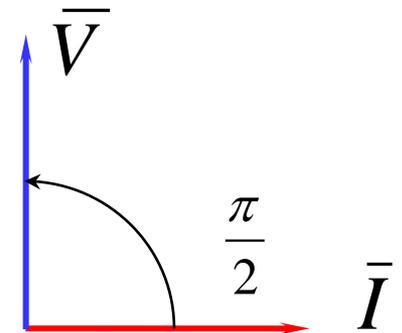


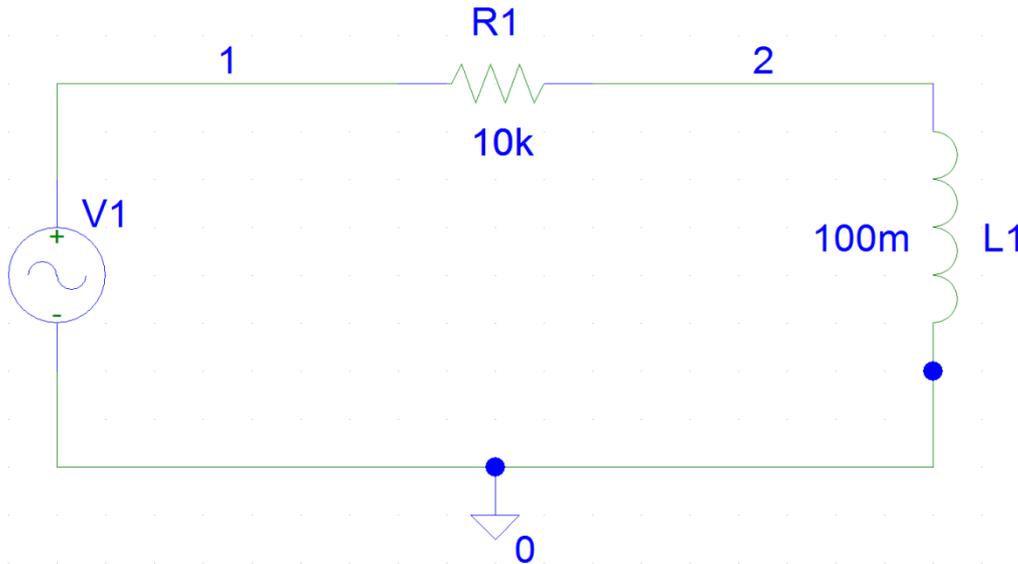
Diagramma fasoriale



La potenza istantanea è una sinusoide di pulsazione doppia rispetto alla tensione e la corrente.

la potenza attiva è nulla, la quantità Q_L è la **potenza reattiva induttiva**.

Regime sinusoidale: potenze



$$v(t) = 20 \sin(4 \cdot 10^3 t)$$

Setup: transient

Print spet: 0s

Final Time: 20mS

Step Ceiling 0.01ms

- **Visualizzare** tensione, corrente e potenza istantanea dell'induttore. **Calcolare** la potenza reattiva messa in gioco e **verificare** sul grafico il risultato ottenuto.